CARLO TAGLIABUE

LA REGISTRAZIONE MAGNETICA DEL SUONO

EDITRICE IL ROSTRO

La registrazione magnetica del suono

LA REGISTRAZIONE MAGNETICA DEL SUONO

Carlo Tagliabue

Editrice IL ROSTRO 20155 MILANO

Autore
C. Tagliabue

© by Editrice il Rostro di Alfonso Giovene & C. s.a.s.

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta o trasmessa senza permesso in qualsiasi forma e con qualsiasi mezzo.

Tipografia Edizioni Tecniche - Milano - Via Baldo degli Ubaldi, 6

Indice

Cenni storici V

1 **I fenomeni magnetici** 1

Interdipendenza fra elettricità e magnetismo 1
Il circuito magnetico 2
Il ciclo di isteresi 5
Il traferro 7
Materiali magnetici assoggettati a campi variabili 9
Magneti: permanenti 10
Il flusso disperso 12
Effetto Barkhausen 13

2 **Teoria della registrazione magnetica** 15
Premesse 15
Il processo di registrazione 19
La cancellazione 28
La lettura 28
Caratteristica di frequenza globale 32

3 **Testine magnetiche** 33
Considerazioni generali 33
Teste di registrazione 36
Testine di lettura 37
Testine di cancellazione 39
Testine multiple 40
Testine combinate 43
Posizionamento delle testine magnetiche 44

4 **Il supporto magnetico** 49
Caratteristiche fisiche del supporto 49
Caratteristiche magnetiche 50
Nastri perforati 54

5 **L'equipaggiamento elettronico** 57
Criteri generali di progetto 57
Le equalizzazioni 60
L'amplificatore di registrazione 63
L'oscillatore a frequenza ultraudibile 70
Il V.U. meter 73
Il preamplificatore di lettura 77
L'alimentazione 82
Generatore di controllo 85
Assiemaggio 85

6 **Collaudi e messe a punto** 93
La strumentazione 93
Verifiche strumentali 99
Messa a punto del registratore completo 111
Accorgimenti utili 117
Tolleranze 120
Verifiche periodiche 121
Appendice 125

CENNI STORICI

La storia della registrazione magnetica ha origini remote. Taluni autori le fanno risalire al 1887, riferendosi ad una comunicazione fatta dal Prof. Paul Janet all'Academie de France, avente come argomento "L'aimantation transversale de conducteurs métalliques"; altri accennano ad un brevetto ottenuto da Edison nel 1878, relativo ad un sistema magnetico per la registrazione di eventi elettrici, seguito nel 1885, da un altro brevetto di C.S. Tainer, riguardante perfezionamenti alla macchina di Edison. Teorie sulla possibilità di immagazzinare segnali elettrici, sfruttando le proprietà magnetiche del ferro, furono l'oggetto di un articolo del fisico Oberlin Smith, apparso nel 1888 sulla rivista "The electrical world".

Più aderente alla realtà sembra essere l'opinione corrente, che attribuisce al danese Valdemar Poulsen il merito di avere realizzato, nel 1892, un dispositivo atto a registrare e riprodurre conversazioni telefoniche a velocità differenti, allo scopo di aumentare la capacità di carico delle reti telefoniche. L'apparecchio, brevettato solo nel 1898, col nome di "telegrafono" fu presentato all'esposizione di Parigi del 1900, ove suscitò enorme scalpore e fruttò all'inventore il gran premio dell'esposizione e l'interessamento di tutta la stampa mondiale.

Il dispositivo, per altro rudimentale, non aveva la minima somiglianza con gli attuali registratori e, certamente, altrettanto può dirsi dei risultati: basta pensare che non disponeva di amplificazione e men che meno di equalizzazione dei segnali e di polarizzazione del supporto magnetico.

Assieme all'Ing. Pedersen, l'inventore apportò in seguito, notevoli miglioramenti al primitivo telegrafono, tra cui la polarizzazione del supporto con corrente continua, e nel 1903 fondò una società per lo sfruttamento dei brevetti acquisiti, ma, malgrado l'interesse iniziale, il telegrafono non ebbe successo commerciale e nel 1908 Poulsen abbandonò la società e tornò in patria, lasciando la direzione della società stessa a C.D. Rood, che negli anni seguenti riuscì a vendere, complessivamente, qualche decina di apparecchi.

La registrazione magnetica fu, per molti anni, dimenticata. Fu solo nel 1921 che Carlson e Carpenter, riprendendo gli studi sull'argomento, misero a punto il sistema di polarizzazione del supporto magnetico mediante corrente alternata a frequenza ultraudibile, tuttora usato.

Nel 1927, ad opera di J.A. O'Neill, fu brevettato il primo nastro magnetico simile agli attuali, costituito da una striscia di carta trattata con un liquido contenente particelle magnetiche, e nel 1928 Karl Bauer realizzò il primo registratore a nastro. Nel frattempo, Stille acquistò i brevetti di Poulsen e ne perfezionò gli apparecchi, cedendo poi, la licenza al Prof. L. Blattner, che realizzò il "Blattnerphon" e ne cedette, nel 1933, i diritti alla Compagnia Marconi, che lo adattò alla produzione di colonne sonore per film.

Il primo registratore magnetico di concezione moderna apparve nel 1935 ad opera della AEG, con la collaborazione della BASF che aveva, nel frattempo, portato un valido contributo al perfezionamento dei nastri magnetici.

Da quel momento, l'evoluzione della registrazione magnetica non è più storia; diventa cronaca.

1 I fenomeni magnetici

1.1 Interdipendenza fra elettricità e magnetismo

Si danno per acquisite la teoria sull'origine atomica del magnetismo, come pure le nozioni fondamentali di elettrotecnica e di elettronica. Si rimanda pertanto il lettore, desideroso di approfondire tali argomenti, alle numerose opere specializzate.

La legge fondamentale che esprime l'interazione fra elettricità e magnetismo, insegna che una carica elettrica in movimento dà origine ad un campo magnetico e, reciprocamente, che un conduttore, situato in un campo magnetico variabile, è soggetto ad una forza elettromotrice indotta; se il conduttore fa parte di un circuito elettrico chiuso, sarà percorso da corrente. Relativamente alle unità che definiscono le grandezze magnetiche è stato qui adottato il sistema assoluto C.G.S. che, oggi, è ancora quello che gode di maggiore diffusione. Le relative unità sono:

Flusso magnetico	Φ	**Maxwell**
Induzione magnetica	**B**	**Gauss**
Campo magnetico	**H**	**Oersted**
Forza magnetomotrice	**M**	**Ampèrspira**
Permeabilità	μ	**B/H**
Riluttanza	R	$1/\mu$
Permeabilità del vuoto	$\mu_o = 1$	

Analogamente a quanto si verifica in un campo elettrico, in cui appaiono due opposte polarità (polo positivo e polo negativo), nel campo magnetico sono sempre presenti due poli opposti (nord e sud) e le linee di forza del campo magnetico hanno una direzione determinata (convenzionalmente dal polo nord al polo sud).

I due poli di una calamita o di un elettromagnete non possono sussistere separati. Se si taglia a metà una sbarretta magnetizzata si otterranno due calamite aventi, ciascuna, un polo nord ed un polo sud.

Il centro magnetico di una calamita non esercita alcuna azione esterna e viene denominato **zona neutra**. Due poli magnetici di segno opposto subiscono una forza di attrazione, mentre due poli di uguale segno sono soggetti ad una azione repulsiva.

L'azione reciproca, che si manifesta fra una calamita ed un materiale magnetico non magnetizzato, è dovuta al fatto che, quando il materiale magnetico viene a trovarsi nel campo della calamita appaiono in esso le due polarità, che risultano opposte a quelle della calamita.

1.2 - Il circuito magnetico

Per rendere più accessibile lo studio del circuito magnetico è utile valersi delle analogie col circuito elettrico, supposto percorso da corrente continua, le cui tre grandezze fondamentali sono la forza elettromotrice **E**, la corrente **I**, e la resistenza **R**, legate fra loro dalla legge di Ohm:

$$\mathbf{I} = \frac{\mathbf{E}}{\mathbf{R}}$$

Sostituendo ad **E** la forza magnetomotrice **M**, ad **I** il flusso magnetico Φ e ad **R** la riluttanza R, si può estendere al circuito magnetico la relazione citata che diventa:

$$\Phi = \frac{\mathbf{M}}{R} \quad \textbf{(Maxwell)}$$

L'analogia può essere estesa alla relazione che consente di determinare la resistenza di un conduttore:

$$\mathbf{R} = \frac{\varphi . \mathbf{l}}{\mathbf{s}}$$

in cui φ è la resistenza specifica del materiale e **s** e **l** rispettivamente la sezione e la lunghezza del conduttore.

Si ottiene quindi:

$$R = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{\mathbf{l}}{\mathbf{s}} = \frac{\mathbf{l}}{\mu . \mathbf{s}} \qquad [2]$$

in cui μ esprime la permeabilità del materiale magnetico e $1/\mu$ la reluttività.

Contrariamente al caso del circuito elettrico in cui φ è una costante fisica del conduttore, la permeabilità dei materiali magnetici varia con il flusso, secondo una legge che non può essere espressa matematicamente, di conseguenza la [1] non è suscettibile di soluzione; tuttavia, la soluzione diviene possibile ponendo l'equazione sotto la forma:

$$\mathbf{M} = \Phi \cdot R \qquad [\mathbf{1\ bis}]$$

nella quale, essendo noto il flusso, si può ricavare R.

Sempre in analogia col circuito elettrico, in cui il rapporto **I/s** esprime l'intensità di corrente per unità di sezione del conduttore, nel circuito magnetico l'espressione:

$$\mathbf{B} = \frac{\Phi}{\mathbf{s}} \text{(Gauss)} \qquad [3]$$

esprime l'induzione **B** intesa come rapporto fra il flusso e la sezione del circuito magnetico.

Riprendendo la [1 bis] e sostituendo a Φ il prodotto **B . s** si avrà:

$$\mathbf{M} = R \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{s} \qquad [4]$$

e sostituendo a R la [2] si ottiene:

$$\mathbf{M} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{s} \cdot \frac{\mathbf{l}}{\mu \cdot \mathbf{s}} = \frac{\mathbf{1}}{\mu} \mathbf{B} \cdot \mathbf{l} \qquad [5]$$

La [5] può considerarsi l'equazione fondamentale del circuito magnetico ed è risolvibile perché, una volta stabilito **B**, si può ricavare il valore corrispondente di μ; la relazione relativa può essere messa sotto la forma generica:

$$\mu = \mathbf{f}\,(\mathbf{B}) \qquad [6]$$

ricavando sperimentalmente il valore di μ, riferito a μ_0 (μ_0 = permeabilità del vuoto =1).

Mettendo ora la [5] sotto la forma:

$$\frac{\mathbf{M}}{\mathbf{l}} = \mathbf{B} \quad \frac{\mathbf{1}}{\mu} \qquad [7]$$

si trova che il termine **M/l** altro non è che la forza magnetomotrice per unità di lunghezza del circuito magnetico, necessaria per produrre un'induzione **B** e prende il nome di campo magnetizzante (**H**).

Dalle [6] e [7] si ricava la seconda relazione generica:

$$\mathbf{H} = \frac{\mathbf{M}}{\mathbf{l}} = \mathbf{f}\,(\mathbf{B}) \text{ (Oersted)} \qquad [8]$$

I diversi valori delle espressioni [7] e [8] vengono ricavati sperimentalmente:

siccome la loro determinazione richiede strumentazioni piuttosto complesse ed una specifica perizia operativa, vengono sempre forniti, sotto forma di diagrammi, dalle industrie produttrici dei materiali magnetici.

Le sostanze dotate di proprietà magnetiche, in ragione della loro permeabilità, vengono suddivise in tre categorie.

Paramagnetiche: aventi permeabilità appena leggermente superiore a 1.

Diamagnetiche: con permeabilità leggermente inferiore a 1.

Ferromagnetiche: la cui permeabilità è molto maggiore di 1, sono le sole utilizzate per scopi pratici, come componenti di circuiti magnetici.

La classificazione dei corpi paramagnetici e diamagnetici ha solamente un interesse teorico, perché la loro permeabilità si discosta dal valore unitario solo di una piccola frazione. Sono ferromagnetici i materiali ferrosi, il nichel, il cobalto, il cromo e le loro leghe, alle quali vengono, a volte, aggiunti, solitamente in piccole proporzioni, altri metalli non magnetici, che conferiscono alla lega particolari proprietà magnetiche e meccaniche.

Proprietà ferromagnetiche analoghe, posseggono le ferriti ed il biossido di cromo, anch'essi largamente impiegati nella realizzazione di circuiti magnetici. Per distinguere le proprietà magnetiche dei metalli menzionati da quelle dei rispettivi sali (ossidi di ferro e biossido di cromo) il Neel ha proposto di usare per questi ultimi il termine **ferrimagnetici**. In realtà, però, non si vede l'utilità di questa distinzione.

Le sostanze non dotate di proprietà ferromagnetiche vengono chiamate, genericamente, **amagnetiche**.

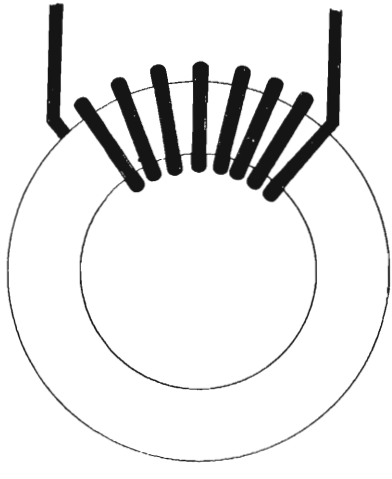


Figura 1

1.3 - Il ciclo di isteresi

Si consideri un nucleo costituito da un anello di ferro o di qualsiasi altro materiale magnetico, recante un avvolgimento (figura 1). Il campo magnetico, originato dalla

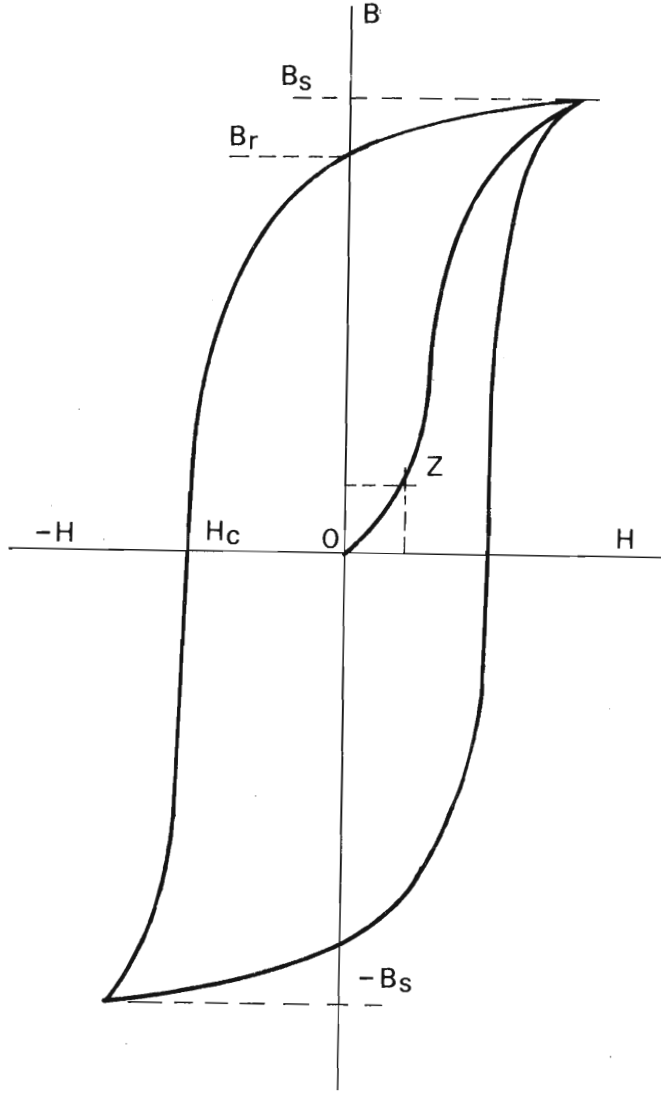


Figura 2

corrente che vi scorre produce nel nucleo un'induzione proporzionale all'intensità del campo ed alla permeabilità del nucleo; quest'ultima dipendente, a sua volta, dall'induzione. Presumendo che inizialmente il nucleo sia smagnetizzato (**B = 0, H = 0**) l'andamento dell'induzione in funzione del campo magnetizzante è rappresentato dalla curva **OB**$_s$, chiamata curva di **prima magnetizzazione** (figura 2). In **B**$_s$ la curva diventa parallela all'ascisse per sopravvenuta saturazione del nucleo.

Riportando a zero il campo magnetizzante, la curva non segue l'andamento **B**$_s$**O** seguendo a ritroso la curva già percorsa, ma segue l'andamento **B**$_s$ - **H**$_c$; si ha, pertanto, che per **H = O B = B**$_2$**. B**$_r$ prende il nome di **induzione residua** e può essere annullata da un campo di segno opposto - **H**$_c$ (**forza coercitiva**).

Aumentando ulteriormente il campo - **H** anche l'induzione cambia di segno e raggiunge il valore di saturazione - **B**$_s$, simmetrico rispetto a **B**$_s$, per continuare il ciclo - **B**$_s$ **B**$_s$ ..... **B**$_s$ **-B**$_s$ ecc., chiamato **ciclo di isteresi**.

Il ciclo di isteresi è tipico di ciascun materiale magnetico e consente, già ad un primo esame, di suddividere i materiali magnetici in due categorie ben distinte. Quei materiali che presentano un ciclo di isteresi molto stretto (figura 3 a) vengono denominati «dolci», sono caratterizzati da induzione residua molto bassa e piccola forza coercitiva, per cui si smagnetizzano spontaneamente al cessare del campo, i

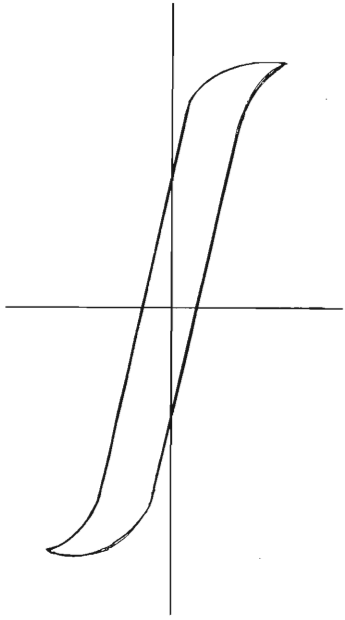


Figura 3A

materiali chiamati «duri», invece, sono caratterizzati da un ciclo di isteresi molto allargato (figura 3 b) ed i loro requisiti fondamentali sono induzione residua alta e forza coercitiva pure molto elevata, capace di opporsi validamente agli influssi smagnetizzanti.

1.4 - Il traferro

Un circuito magnetico completamente chiuso ed uniforme, come quello esemplificato, rappresenta un caso limite, nel quale, teoricamente, non si manifesta alcun campo magnetico esterno e, reciprocamente, è immune da influenze smagnetizzanti esterne. Il caso limite opposto è rappresentato da un magnete rettilineo, il cui flusso si chiude unicamente attraverso lo spazio circostante, creando un campo esterno che si estende, teoricamente, all'infinito, in tutte le direzioni (figura 4). Fra questi due limiti viene a trovarsi la condizione di lavoro del magnete, sia che si tratti di un magnete permanente che di una elettrocalamita. Lo spazio attraverso al quale si chiude il circuito magnetico è il traferro. Assai sovente questo spazio è occupato dall'aria, ma in realtà, qualunque materiale non magnetico costituisce un traferro.

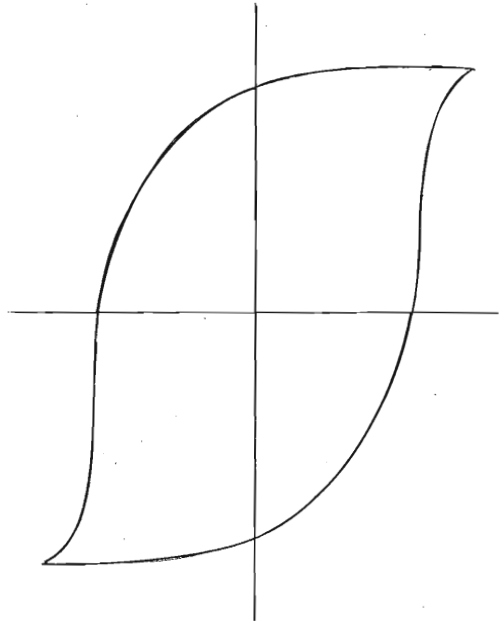
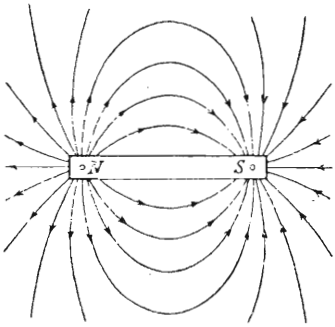


Figura 3B



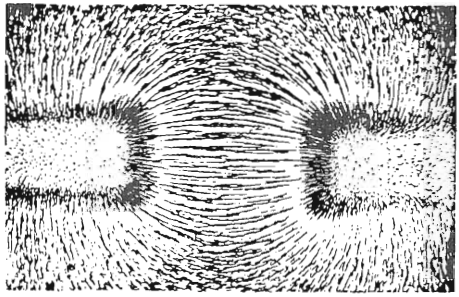


Figura 4

La presenza del traferro, la cui permeabilità è uguale a 1, fa sì che la riluttanza del circuito magnetico aumenti in ragione del traferro stesso. Chiamando **lm** la lunghezza del magnete e l_t quella del traferro, la [2] diventa:

$$R = \frac{\mathbf{lm}}{\mu \cdot \mathbf{s}} + \frac{\mathbf{lt}}{\mathbf{s}} \qquad [9]$$

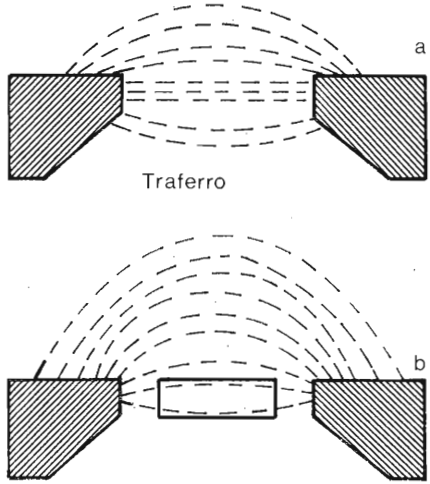
dalla quale si deduce anche che il campo **H**, che evidentemente si ripartisce in ragione della riluttanza delle varie parti del circuito magnetico, tende a concentrarsi nel traferro. Per la [9] la riluttanza totale del circuito magnetico aumenta e diviene meno dipendente dall'induzione; quest'ultima diminuisce, mentre aumenta la tendenza del magnete a subire l'azione dei campi smagnetizzanti.

È possibile, con buona approssimazione, rappresentare il flusso magnetico in un traferro come un fascio di linee di forza magnetica steso fra le estremità polari. In qualsiasi punto dello spazio interposto fra i poli del magnete, tutte queste linee, che rappresentano il campo, hanno evidentemente uguali intensità e direzione, come se fossero altrettanti sottilissimi magneti affiancati, aventi uguale polarità. Come tali tendono a respingersi a vicenda.

La conseguenza è che il campo non risulta mai limitato alla sezione del traferro, ma tende ad espandersi, come indicato nella figura 5 a.

La distribuzione del campo nel traferro dipende da numerose variabili; in primo luogo dalla sua intensità, quindi dalla lunghezza del traferro, nonché dalla forma, dalla sezione e dalla permeabilità delle espansioni polari.

Se il campo magnetico è variabile e nel traferro si trova un materiale amagnetico, ma elettricamente conduttore, vi avranno origine delle correnti di Foucault, che produrranno a loro volta un campo magnetico, che tende a respingere il campo principale fuori dal traferro (figura 5 b).



In molti casi, e la registrazione magnetica rappresenta appunto uno di questi, la distribuzione del campo nel traferro assume importanza di primo piano, tanto da rendere necessari lunghi e minuziosi accorgimenti per governarla.

1.5 - Materiali magnetici assoggettati a campi variabili

Il ciclo di isteresi fornisce tutte le indicazioni relative alle vicende magnetiche di un determinato materiale assoggettato ad un campo magnetizzante ed alle sue possibilità di impiego. Il tratto **OZ** della curva di prima magnetizzazione, chiamato **zona di permeabilità iniziale**, è praticamente lineare e viene usato in quei casi in cui il campo magnetizzante è variabile e sempre molto piccolo (trasformatori per piccoli segnali, testine magnetiche di lettura, ecc.). In questo caso, onde mantenere le distorsioni a valori trascurabili, vengono, naturalmente impiegate leghe estremamente dolci (ad es.: Mumetall, Recovac®, ecc., secondo le diverse esigenze), aventi induzione residua bassa e forza coercitiva quasi trascurabile.

Il ciclo di isteresi, che ha origine per valori così bassi di **H**, è tanto stretto che può, senza pregiudizio, essere considerato una retta. In queste applicazioni non si richiede un valore elevato dell'induzione di saturazione, appunto perchè il campo magnetizzante è sempre piccolo.

Quando il campo assume valori più elevati e la curva di prima magnetizzazione esce dalla zona di permeabilità iniziale, il ciclo di isteresi che si forma assume dimensioni non più trascurabili, ma che possono ancora essere accettate, purchè

l'induzione di saturazione del materiale sia sufficientemente alta; anche per queste applicazioni vengono impiegate leghe a bassa induzione residua e bassa coercitiva, scelte fra quelle aventi più alta induzione di saturazione.

A questo proposito, merita molta attenzione il ferroxcube, un materiale ceramico molto dolce, che presenta un ciclo di isteresi stretto ed una saturazione sufficientemente alta. Nei casi in cui si presentano campi magnetizzanti molto intensi, ciò che più interessa è una elevata induzione di saturazione. Il ciclo di isteresi che, naturalmente, deve essere il più stretto possibile, viene utilizzato per intero e la relazione tra campo ed induzione si scosta dalle condizioni ideali. Per queste applicazioni che, peraltro, non interessano nel settore della registrazione magnetica, viene usato prevalentemente ferro al silicio amisotropico o a (cristalli orientati).

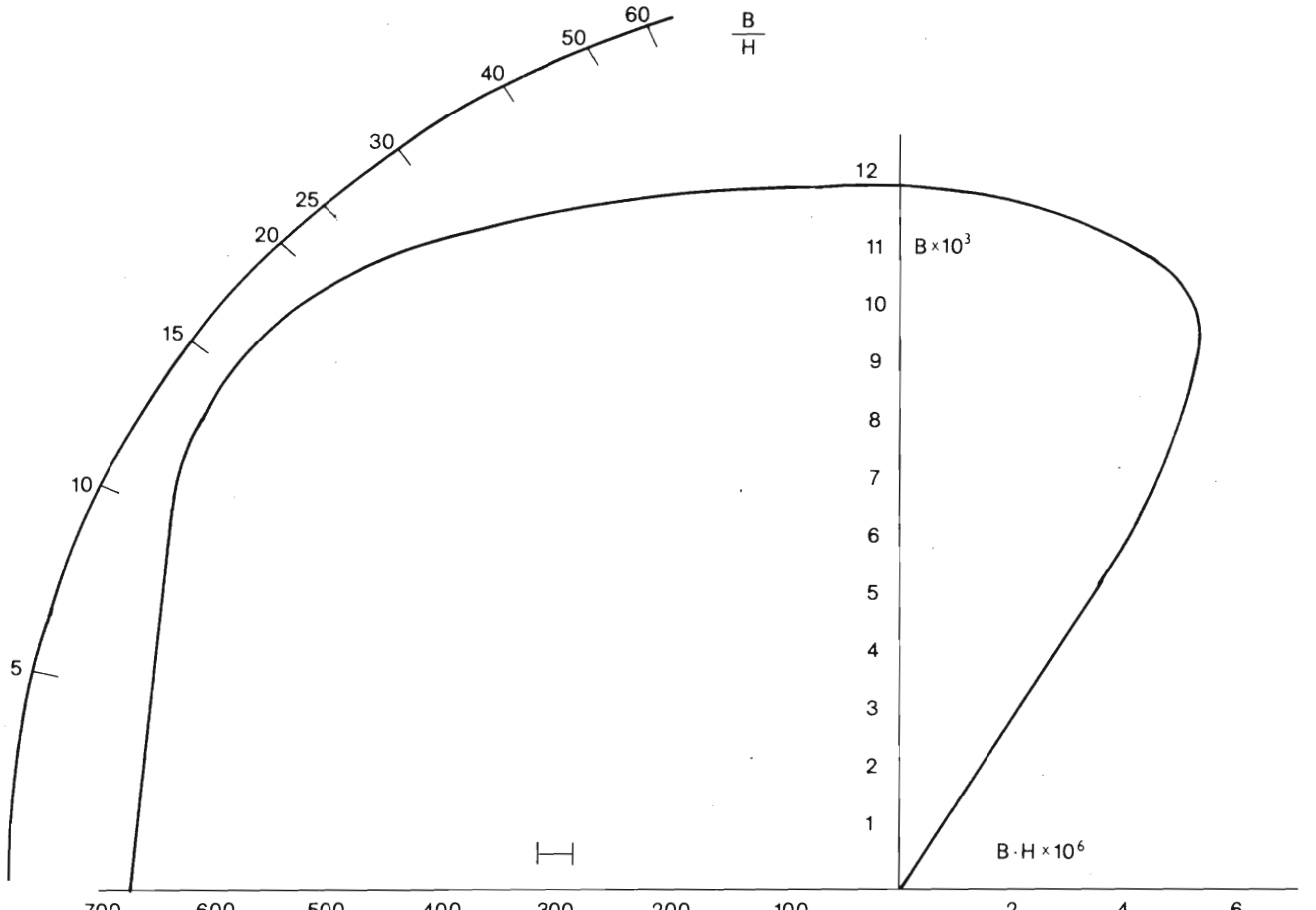
1.6 - Magneti permanenti

Per la determinazione dello stato in cui viene a trovarsi un materiale duro, una volta cessata l'azione del campo magnetizzante, interessa solo il quadrante —**HOB** del ciclo, che prende il nome di **curva di smagnetizzazione** (figura 6). I valori del rapporto **B/H**, dedotti assumendo per *R* la riluttanza complessiva del circuito magnetico (magnete + traferro), sono riportati lungo l'arco di cerchio situato sulla sinistra del diagramma. Una retta che congiunge l'orgine **O** degli assi con il valore ottenuto di **B/H**, interseca la curva di smagnetizzazione nel punto di lavoro della calamita e consente di determinarne l'induzione residua e la forza coercitiva. Nell'esempio i due valori sono $\mathbf{B}_r$ ed $\mathbf{H}_c$.

Sulla destra del diagramma sono, invece, riportati i valori assunti nei vari punti della curva di smagnetizzazione dal prodotto **B . H**, indicativo dell'energia disponibile nelle condizioni prescelte e che chiamasi **prodotto di energia**.

Tutti i materiali magnetici risentono dell'influenza negativa di fattori esterni: la temperatura, le tensioni meccaniche e l'azione dei campi smagnetizzanti. Nell'ambito delle normali temperature ambientali le variazioni dell'induzione sono del tutto trascurabili, ma alle alte temperature, si ha una riduzione che giunge fino all'annullamento delle proprietà magnetiche (**punto di Curie**); per gli acciai e sue leghe il punto di Curie è situato fra i 600° e gli 850°, mentre le ferriti denunciano già un'apprezzabile perdita di magnetizzazione intorno ai 100°/120°.

Un fenomeno analogo, pur senza giungere alla totale perdita delle proprietà magnetiche, si verifica a causa di tensioni meccaniche, urti violenti e vibrazioni. L'azione smagnetizzante, conseguente a campi esterni, che si verifica su magneti aventi un traferro lungo, è certamente la più importante e deve essere tenuta sotto controllo. È intuitivo che i materiali meno sensibili a tale azione sono quelli che dispongono di una elevata forza coercitiva, che è, per definizione, la forza che si oppone agli influssi smagnetizzanti. È, comunque, importante che lo stato magne-


B/H
60
50
40
30
25
20
15
10
5
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
B×10³
B·H×10⁶
700
600
500
400
300
200
100
2
4
6

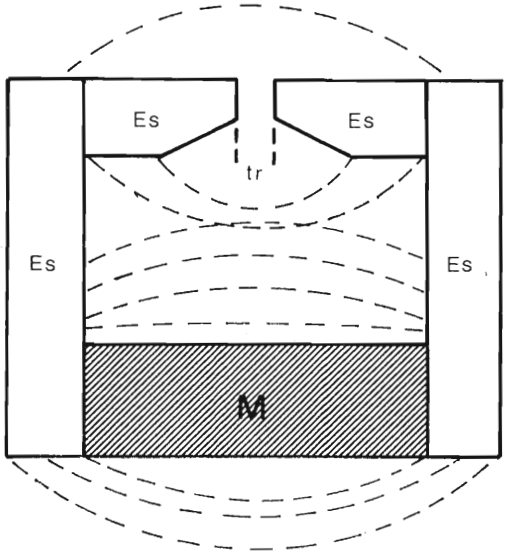
tico di una calamita, quali che siano le applicazioni a cui è destinata, sia stabile nel tempo, che non subisca, cioè, variazioni, determinate da cause esterne di qualsiasi natura.

1.7 - Il flusso disperso

Dallo studio del circuito magnetico appare evidente che, a differenza di quanto avviene nel circuito elettrico, non vi è una separazione netta e assoluta fra conduttore e isolante. Mentre un circuito elettrico aperto può considerarsi avente resistenza infinita, nel circuito magnetico il rapporto fra la riluttanza del megnete e quella dello spazio circostante, pur essendo molto alto, non consente l'applicazione di tale criterio semplificativo.

La figura 7 rappresenta un ipotetico circuito magnetico costituito da un magnete M, da due espansioni polari EP da un traferro TR. Il flusso magnetico, nella **quasi** totalità, risulta concentrato nel traferro, ma una certa percentuale di esso si chiude nello spazio circostante, la cui riluttanza non è sufficientemente alta da poter essere trascurata.

La valutazione del flusso disperso è difficilissima, perchè è legata alla geometria del circuito magnetico, alla permeabilità delle varie sezioni di cui è costituito ed alle



dimensioni del traferro. Quantunque esistano alcune formule empiriche che consentono di determinare, con una discreta approssimazione, la percentuale di flusso disperso, tenendo conto delle dimensioni e delle forma del circuito magnetico, nella maggioranza dei casi si preferisce procedere per tentativi, valendosi soprattutto dell'esperienza. Come è intuitivo, a parità di altre condizioni la percentuale di flusso disperso è proporzionale al rapporto l_m/l_t fra la lunghezza del percorso del flusso nel magnete e nelle relative eventuali espansioni polari, e quella del traferro.

1.8 - Effetto Barkhausen

Il fenomeno, noto sotto il nome di **effetto Barkhausen**, è legato all'origine atomica del magnetismo, che presuppone un determinato orientamento degli spin degli elettroni, mentre compiono la loro orbita attorno al nucleo atomico.

Come conseguenza, il ciclo di isteresi, che viene rappresentato graficamente come una funzione continua, viene ad assumere, in realtà, la forma di una successione di piccolissimi gradini.

Anche se il campo magnetizzante è costante, l'induzione subisce continue variazioni intorno al suo valore medio, dovuto al passaggio spontaneo da un gradino all'altro.

Il fenomeno, che di solito non viene preso in alcuna considerazione perchè giudicato privo di importanza pratica, nel caso specifico della regsitrazione magnetica costituisce invece una limitazione, perchè è causa di rumore di fondo.

2 Teoria della registrazione magnetica

2.1 - Premesse

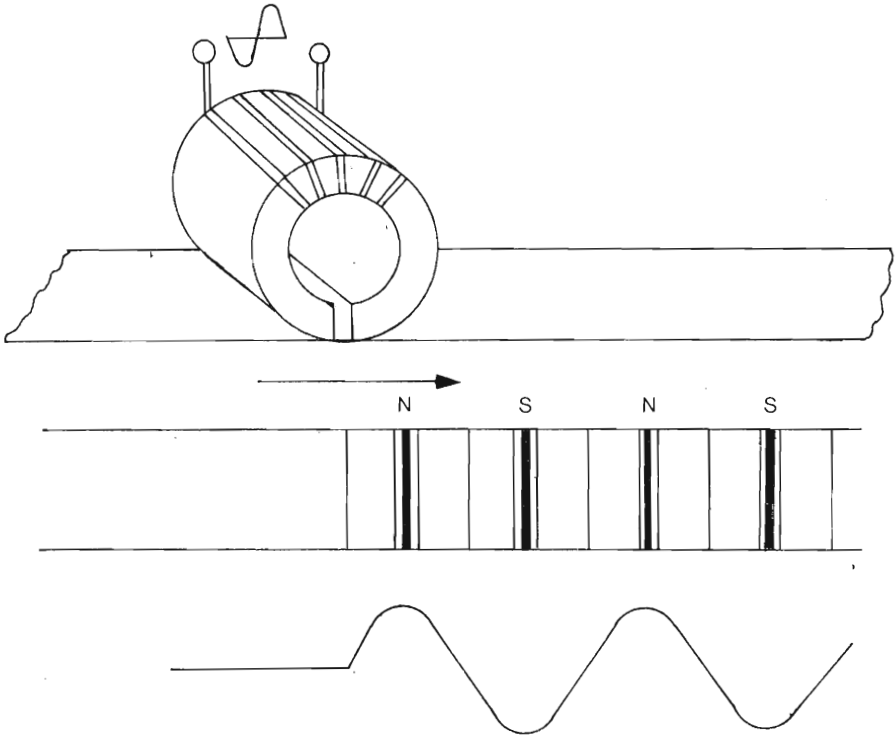
Per grandi linee, il procedimento di registrazione magnetica di eventi elettrici è di una sbalorditiva semplicità. In tutte le moderne apparecchiature, il supporto magnetico è costituito da un nastro di una materia plastica (poliestere o acetato di cellulosa), sul quale è stato steso uno strato di materiale magnetico, ridotto in polvere impalpabile, mescolato ad un opportuno legante. Il materiale magnetizzabile può essere una ferrite oppure biossido di cromo.

Gli elettromagneti destinati alla registrazione, alla riproduzione ed alla cancellazione dell'evento elettrico, comunemente chiamati **testine magnetiche**, mollto simili fra loro, sono costituiti da un nucleo anulare di un materiale avente altissima permeabilità e bassa forza coercitiva, munito di un traferro e recante l'avvolgimento.

Il nastro, che viene fatto scorrere con velocità uniforme a contatto con la testina di registrazione (figura 8), subisce e trattiene tutte le vicende magnetiche indotte dal campo presente nel traferro.

Ripassando in modo analogo il nastro sulla testina di lettura, ha origine, ai capi del suo avvolgimento, una forza elettromotrice, proporzionale alla velocità di variazione del flusso indotto nel nucleo dalla magnetizzazione residua rimasta sul nastro. In questo modo l'evento elettrico registrato, può venire riprodotto.

Col procedimento indicato, la registrazione risulta di tipo longitudinale (figura 9), la sola oggi impiegata e superiore, sotto ogni aspetto, a quella trasversale, un

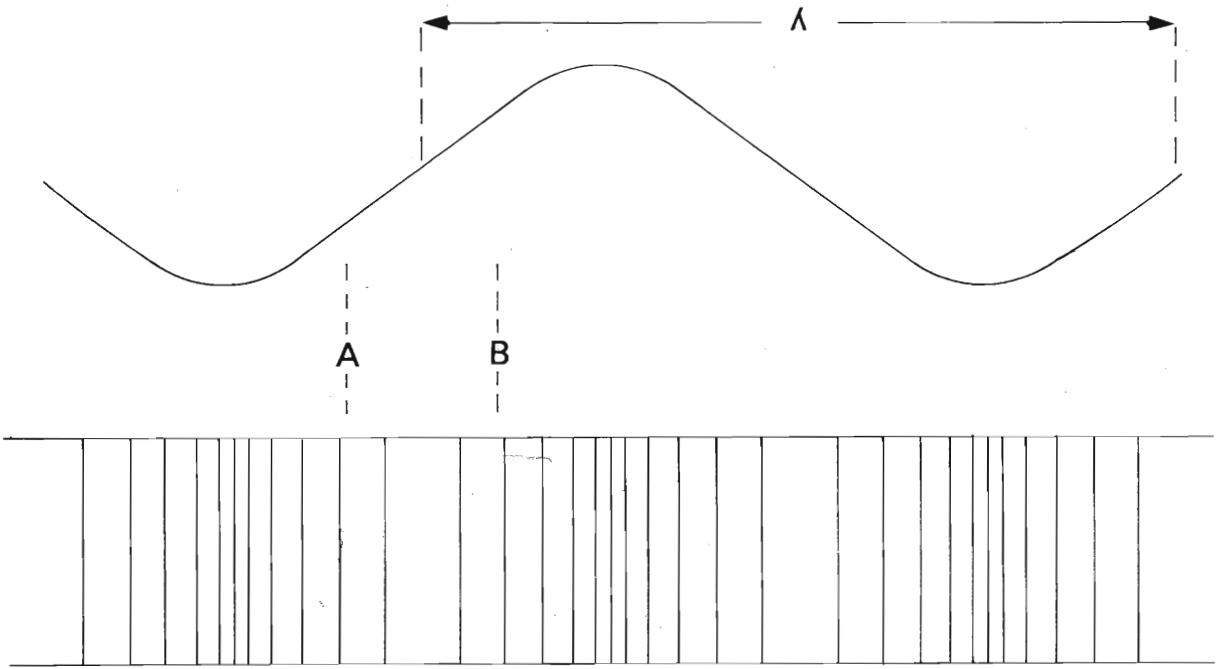


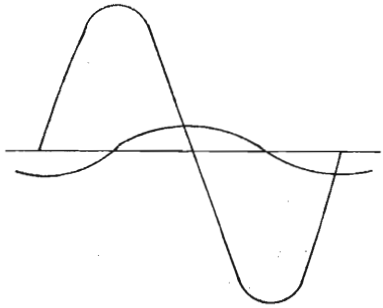
tempo sperimentata, senza successo, sui registratori che usavano come supporto magnetico il filo di acciaio.

Va osservato, incidentalmente, che alla registrazione longitudinale si accompagna sempre una componente parassita trasversale, in corrispondenza dei bordi del traferro (figura 10). Questa componente, teoricamente, è dannosa perchè fonte di distorsione, tuttavia la sua entità non è tale da pregiudicare apprezzabilmente la forma d'onda del segnale registrato.

Ai fini di un corretta registrazione magnetica di eventi elettrici, è necessario che il segnale registrato, ossia l'induzione residua del supporto magnetico, sia l'esatta riproduzione dell'evento elettrico, tanto relativamente all'ampiezza che alla frequenza ed alla forma d'onda.

Questa condizione deve essere soddisfatta sia nei confronti del campo magnetico, generato nel traferro della testina di registrazione dall'evento elettrico, che dell'induzione residua nel supporto magnetico, conseguente al campo presente nel tra-

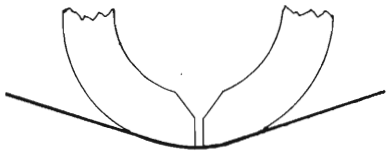

λ
A
B



ferro. Affinché sia corretta la riproduzione del segnale registrato, occorre che sia rispettata analoga condizione nei confronti della relazione che lega la magnetizzazione residua del supporto alla forza elettromotrice che appare ai capi dell'avvolgimento della testina di lettura. Come si vedrà, quest'ultima condizione non può essere soddisfatta ed occorre, perciò, ricorrere ad una opportuna correzione del segnale, a valle della testina di lettura.

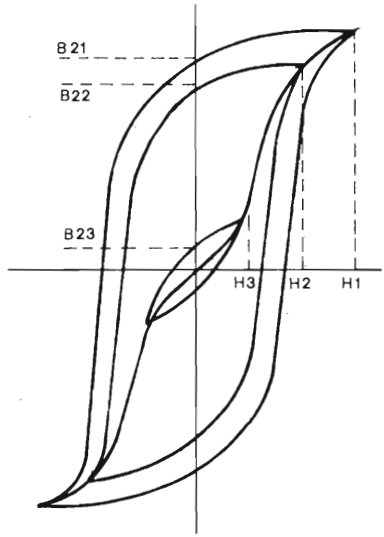
Nella figura 8 il nastro è stato rappresentato, per maggiore semplicità, tangente al punto della testina in corrispondenza del traferro. In pratica, per assicurare la sufficiente aderenza nastro-testina, si consente al nastro di abbracciare, per un certo tratto, le estremità polari della testina stessa. La figura 11 rappresenta molto ingrandita la reale situazione in cui viene a trovarsi, in pratica, la zona di contatto nastro-testina.

L'estensione di questa superficie di contatto è, sotto certi aspetti, determinante della fedeltà del processo registrazione-lettura (V. cap. II 2, 3, 4).



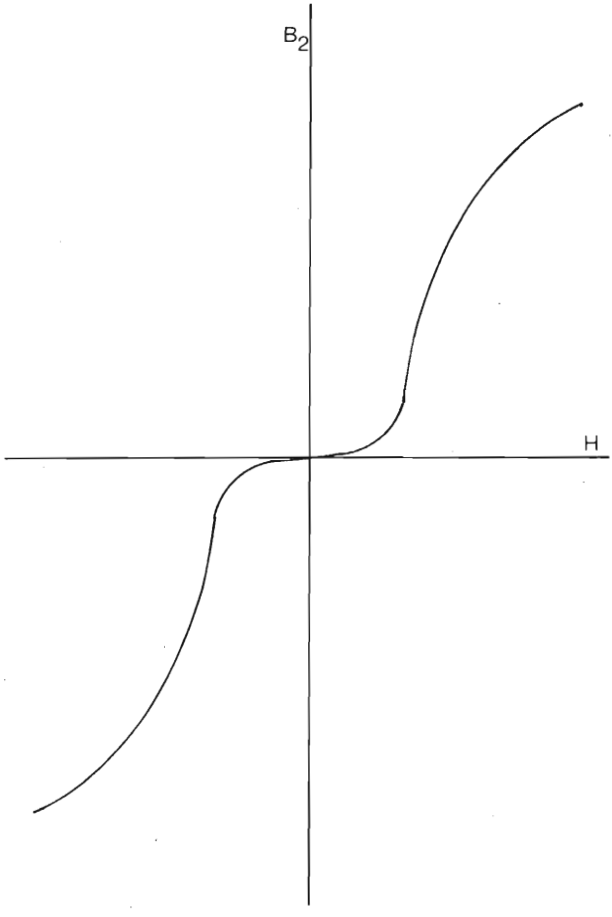
2.2 - Il processo di registrazione

Il ciclo di isteresi, rappresentato in figura 2, di cui si è trattato nel primo capitolo, è indicativo delle vicende magnetiche di un determinato circuito, partendo dallo stato smagnetizzato sino alla saturazione: rappresenta, perciò, il caso limite che non sempre si presenta. Se le variazioni intorno allo zero del campo magnetizzante sono di ampiezza inferiore a quella necessaria per raggiungere la saturazione, si otterrà un nuovo ciclo di isteresi limitato all'ampiezza del campo. Nella figura 12 sono rappresentati tre cicli di isteresi, aventi naturalmente un punto zero in comune, per tre diversi valori dell'ampiezza di **H**. Ciascuno dei tre cicli di isteresi taglia l'ordinata **B** in u punto (rispettivamente $\mathbf{B}_{r1}$, $\mathbf{B}_{r2}$ e $\mathbf{B}_{r3}$). Balza all'occhio a prima vista che, mentre i punti $\mathbf{H}_1$, $\mathbf{H}_2$ ed $\mathbf{H}_3$ sono equidistanti, i punti $\mathbf{B}_{r1}$, $\mathbf{B}_{r2}$ e $\mathbf{B}_{r3}$ non lo sono affatto.

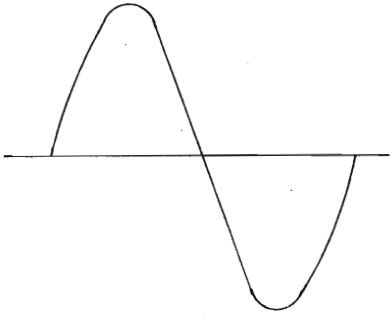


Se si riporta in coordinate cartesiane l'induzione residua in funzione del campo magnetizzante, appare una curva come quella rappresentata in figura 13, che viene chiamata **curva statica** di magnetizzazione.

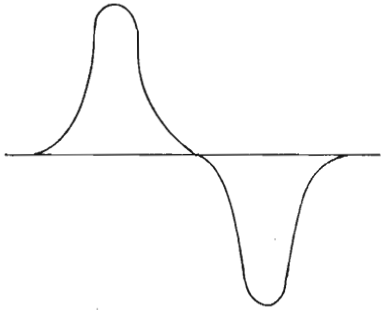
La conseguenza della non linearità dell'induzione residua nel supporto, in funzione del campo magnetizzante nel traferro della testina di registrazione, è la presenza di una forte distorsione nel segnale registrato (figura 14).



Curva statica

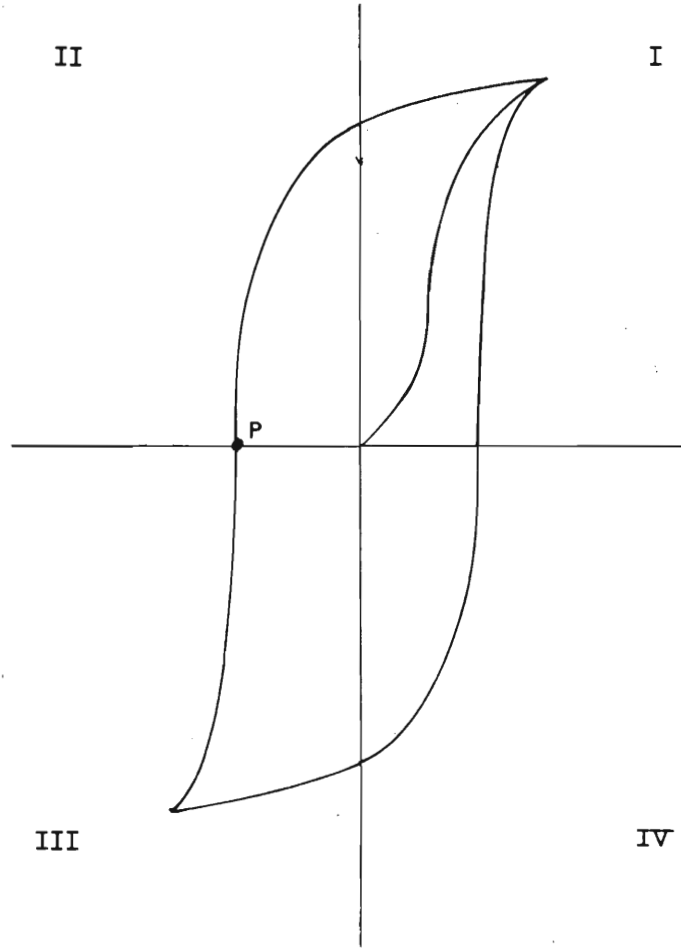


Campo magnetizzante

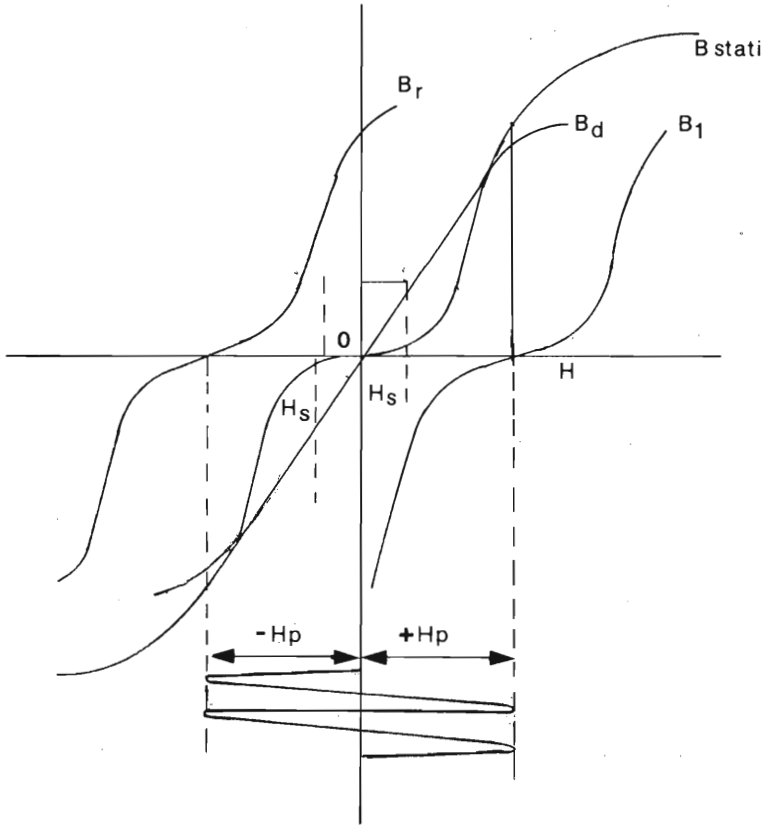


Induzione residua

L'idea che viene spontanea per eliminare, o quantomeno ridurre a livelli accettabili, la distorsione è quella di ricorrere ad una polarizzazione, che sposti il punto di lavoro sul ciclo in prossimità della zona centrale di uno dei tratti rettilinei. Questo risultato può essere ottenuto portando il supporto magnetico a saturazione (mediante una testina alimentata inc.c., o un magnete permanente), quindi applicando alla testina di registrazione, assieme al segnale da registrare, un campo c.c. di segno opposto, che sposti in **P** il punto di lavoro (figura 15). Questo sistema di



polarizzazione fu infatti adottato dallo stesso Poulsen nel suo primitivo registratore, ma, pur avendo dato risultati abbastanza soddisfacenti dal punto di vista della distorsione, imponeva una velocità di scorrimento del supporto magnetico eccessivamente alta ed era causa di elevato rumore di fondo (prodotto dall'effetto Barkhausen) conseguente alla componente continua dell'induzione. La soluzione ottimale fu quella proposta da Carlson e Carpenter, consistente nella polarizzazione con corrente alternata a frequenza ultraudibile, oggi adottata in tutti i registratori magnetici.



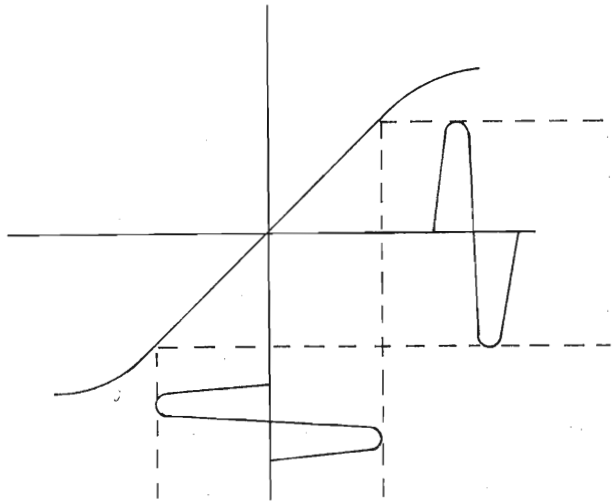
Il procedimento consiste nell'applicare alla testina di registrazione, assieme al segnale a frequenza acustica da registrare, una corrente sinusoidale, avente frequenza ultraudibile ed ampiezza molto maggiore di quella del segnale a frequenza acustica.

Si consideri la curva statica di magnetizzazione $\mathbf{B}_{stat}$ rappresentata con linea tratteggiata in figura 16. Applicando alla testa di registrazione una corrente di frequenza decisamente superiore alla più alta frequenza da registrare, il cui valore di picco sia $\mathbf{i}_p$ il campo magnetizzante $\mathbf{H}_p$ che ne consegue, produce sul supporto magnetico, che scorre a velocità costante davanti alla testina, una induzione residua. Se il campo è perfettamente simmetrico, il suo valore passerà per lo zero esattamente nel punto **0** (origine degli assi), il che significa che, in quell'istante anche l'induzione residua sarà zero. Quando alla corrente supersonica viene sovrapposta una corrente $\mathbf{i}_s$ di frequenza molto bassa, rispetto ad $\mathbf{i}_p$, il campo risultante sarà la somma algebrica di $\mathbf{H}_p$ e del campo $\mathbf{H}_s$ dovuto alla corrente i_s, ossia:

$$(\mathbf{H}_p + \mathbf{H}_s) + (\mathbf{H}_p - \mathbf{H}_s)$$

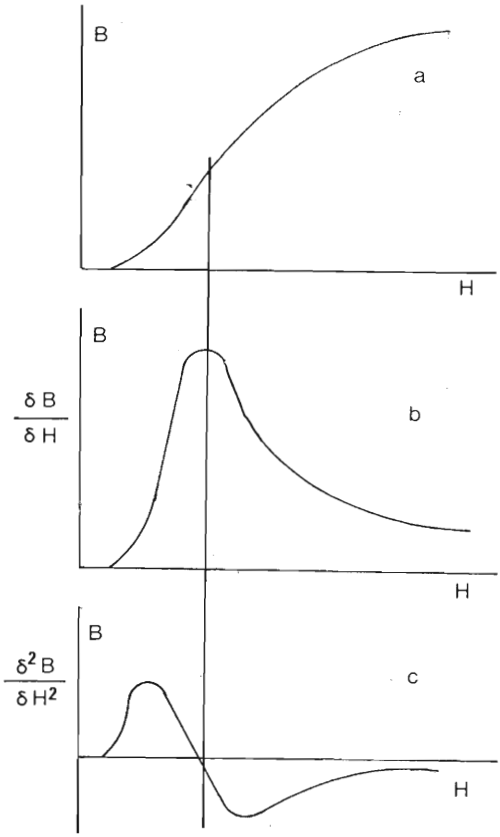
il che equivale a dire che il punto zero del campo si sposta della quantità $\mathbf{H}_s$ e che, di conseguenza, l'induzione residua risulta diversa da zero.

Calcolando punto per punto i valori assunti dalla residua in funzione dei diversi valori di $(\mathbf{H}_p + \mathbf{H}_s) + (\mathbf{H}_p - \mathbf{H}_s)$ si ricava una retta, simmetrica rispetto all'origine



degli assi, che esprime l'induzione residua $\mathbf{B}_d$ in funzione del campo $\mathbf{H}_s$ e che prende il nome di **caratteristica dinamica** di magnetizzazione. In termini grossolani si potrebbe dire che lo spazio compreso fra le due curve $\mathbf{B}_1$ e $\mathbf{B}_2$, che delimitano il valore picco-picco del campo a frequenza ultraacustica, costituisca una specie di corridoio, entro il quale l'induzione residua è rigorosamente proporzionale al campo magnetizzante a frequenza acustica (figura 17).

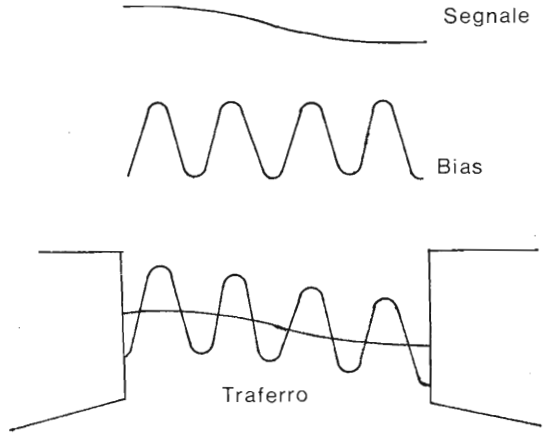
L'estensione e la pendenza del tratto rettilineo della caratteristica dinamica dipendono dal campo $\mathbf{H}_p$ di polarizzazione. Si può tracciare una curva rappresentativa della pendenza, per diversi valori di $\mathbf{H}_p$, prendendo le tangenti ai rispettivi punti della curva statica (curva **a** della figura 18). La derivata $\delta\mathbf{B}/\delta\mathbf{H}$ (curva **b**) indica il



massimo valore assunto dall'induzione residua che, a sua volta, è indicativo della pendenza e la derivata seconda $\delta^2\mathbf{B}/\delta\mathbf{H}^2$ (curva **c**), che si annulla in corrispondenza col picco della curva **b**, rappresenta il punto di minima distorsione.

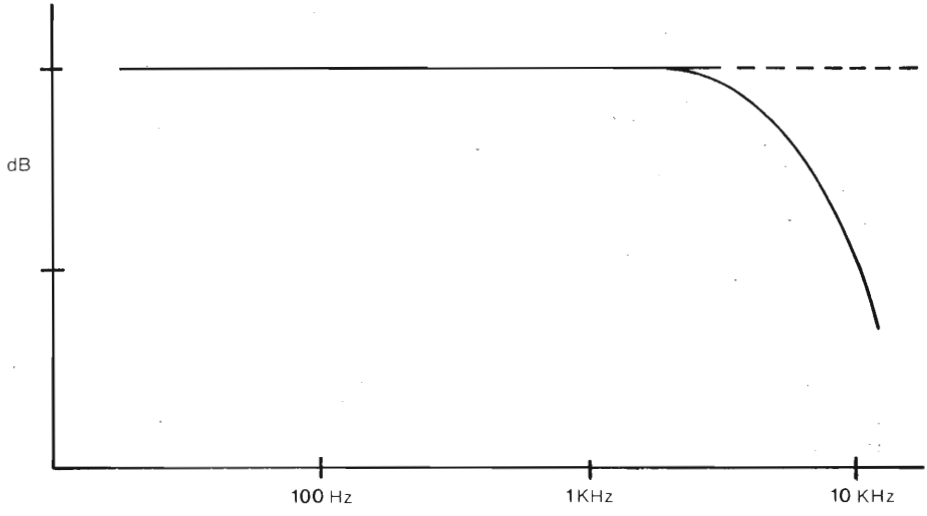
Il valore ottimale della corrente di polarizzazione dipende dalle caratteristiche della testina di registrazione e da quelle del supporto magnetico e viene, di solito, indicato dai rispettivi fornitori; la sua determinazione è, comunque, una operazione molto semplice, che può essere eseguita in fase di messa a punto e di semplice verifica dell'apparecchiatura di registrazione. È importante che la sua frequenza sia molto alta rispetto alla più alta frequenza del segnale da registrare, ciò per evitare battimenti a frequenza udibile fra le armoniche di quest'ultima e la corrente di polarizzazione (comunemente indicata con la denominazione inglese «bias»). La pratica consiglia un rapporto non inferiore a 1/5. È soprattutto fondamentale che il bias sia perfettamente sinusoidale, perchè anche la presenza di una piccola percentuale di armoniche può infirmare la simmetria del campo e lasciare un residuo di magnetizzazione, anche in assenza del segnale a frequenza acustica, con conseguente incremento del rumore di fondo; particolarmente dannose sono le armoniche di ordine pari, che devono essere evitate con la massima cura: nei reistratori di buon livello qualitativo non si dovrebbe tollerare una distorsione **totale** nella corrente di bias superiore allo 0,5%.

Il sistema di polarizzazione del supporto magnetico con un campo sinusoidale a frequenza ultraudibile merita un esame approfondito, anche per un altro grosso vantaggio che offre nei confronti della caratteristica di frequenza della registrazione. Considerando la frequenza molto alta della corrente di polarizzazione (in genere da 60 a 120 kHz), nel tempo che un punto del supporto impiega a percorrere



tutta la lunghezza del traferro, il campo magnetizzante ha già subito parecchie inversioni, il che significa, in parole povere, che il punto considerato del supporto è stato magnetizzato e smagnetizzato parecchie volte. In queste condizioni è chiaro che l'evento che rimane registrato è solamente quello che si è verificato nell'istante in cui il punto del supporto magnetico sta abbandonando il traferro (figura 19). È questo un grosso vantaggio, perchè, contrariamente a quanto accade nel processo di lettura, risulta svincolata la caratteristica di frequenza del segnale registrato dalla lunghezza del traferro, che può, così, essere dimensionato secondo le esigenze che verranno considerate nel capitolo terzo riguardante le teste magentiche.

Indipendentemente dalle dimensioni del traferro, vi è, però, una causa che lega l'induzione residua nel supporto alla frequenza del segnale registrato: si tratta del fenomeno che viene chiamato **smagnetizzazione spontanea**, a causa del quale la curva che esprime l'induzione residua in funzione della frequenza, per un valore costante del campo magnetizzante e, ben inteso, per una velocità determinata di scorrimento del nastro, assume l'andamento visibile in figura 20.



Per chiarire questo fenomeno occorre fare mente locale a quanto è stato detto nel primo paragrafo di questo capitolo, a proposito della magnetizzazione del supporto, conseguente al campo indotto, visualizzato in figura 9.

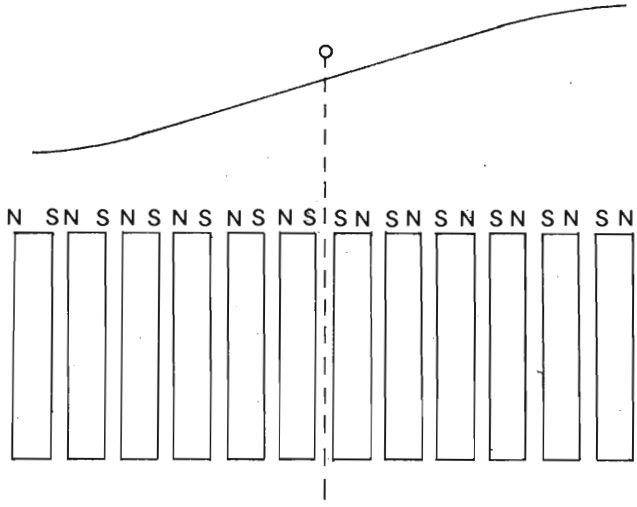
Nulla vieta di considerare il nastro, la cui induzione residua varia da un punto all'altro, secondo l'andamento del segnale registrato, alla stregua di un seguito di

cortissimi magneti, disposti in successione, aventi ciascuno induzione diversa dal precedente. Sempre con riferimento alla figura citata, si consideri il tratto A-B del nastro, riportato, molto ingrandito in figura 21, e rappresentato appunto, sotto forma di una successione di cortissimi magneti. La linea verticale, contrassegnato con **0**, sta ad indicare il punto di passaggio per il valore zero del segnale registrato.

Si osservi la disposizione delle polarità dei singoli magnetini. Partendo dalla sinistra della figura si avrà: NS-NS-NS, quindi, passando oltre il punto zero, la successione continua, ma invertita, cioè: SN-SN-SN.

Si giunge, così, alla conclusione che ad ogni inversione del flusso, si trovano affiancati due poli magnetici aventi il medesimo segno, ciascuno dei quali esercita il suo influsso smagnetizzante sull'altro (vedasi quanto detto nel paragrafo 4 del primo capitolo a questo proposito).

Alle basse frequenze il gradiente di magnetizzazione lungo il nastro è pure basso e non si verifica, pertanto, alcuna riduzione del segnale registrato, ma con l'aumentare della frequenza e, conseguentemente, del gradiente di magnetizzazione, aumenta di pari passo la smagnetizzazione del supporto, come appunto indica la figura 20.



Una ulteriore causa di smagnetizzazione del supporto è in relazione con la distribuzione del flusso nel traferro della testina, che tende a chiudersi anche al di là dei limiti rappresentati dai bordi delle espansioni polari. Questa distribuzione del flusso, (figura 5), può venire minimizzata, con opportuni accorgimenti nella pro-

gettazione della testina di registrazione, ma non eliminata completamente. Di conseguenza, la presenza della corrente di polarizzazione opera nella zona di contatto nastro-testina, oltre il traferro, una parziale cancellazione del segnale registrato.

La curva di figura 20 deve, quindi, venire opportunamente equalizzata, introducendo la necessaria correzione del segnale applicato alla testina.

2.3 - La cancellazione

Ai tempi in cui la cancellazione del segnale registrato veniva effettuato saturando il supporto magnetico con un intenso campo c.c., si verificava l'inconveniente, già accennato, del rumore di fondo, che limitava notevolmente la dinamica di registrazione. Per ben comprendere il processo di cancellazione con corrente ultraudibile, attuato nei moderni registratori, può servire ancora una volta la figura 5. Si osservi che il flusso di induzione non è concentrato nel traferro, ma si estende, in parte non trascurabile oltre i suoi bordi, per chiudersi sulla superficie esterna delle espansioni polari. Questa particolare distribuzione del flusso, essenziale per ottenere una efficace cancellazione, dipende anche dalla struttura della testina di cancellazione, che verrà esaminata a suo tempo.

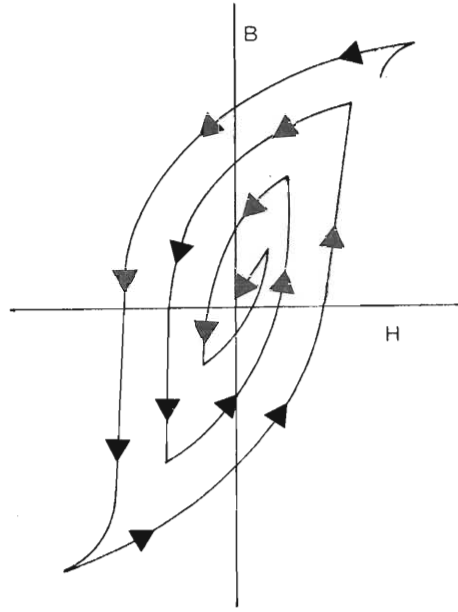
Analogamente a quanto avviene nel processo di registrazione, un punto del nastro che scorre davanti al traferro della testina di cancellazione, subirà, durante il tragitto da un bordo all'altro delle espansioni polari, una successione di magnetizzazioni (in questo caso fino a saturazione) e di smagnetizzazioni. Giunto il punto considerato del supporto magnetico al bordo del traferro, si troverà un valore di $\mathbf{B}_r$ del tutto casuale, compreso fra $+\mathbf{B}_r$ e $-\mathbf{B}_r$; proseguendo nel suo percorso, però, non si troverà all'improvviso sottratto all'influenza del campo magnetizzante, ma si sposterà in un campo descrescente, che porterà a zero l'induzione residua, attraverso una serie di cicli di isteresi sempre più piccoli, come viene dimostrato dalla figura 22, ed abbandonerà la testina di cancellazione, allo stato vergine (figura 23). È evidente che, in queste condizioni non potrà apparire rumore di fondo, causato da effetto Barkhausen.

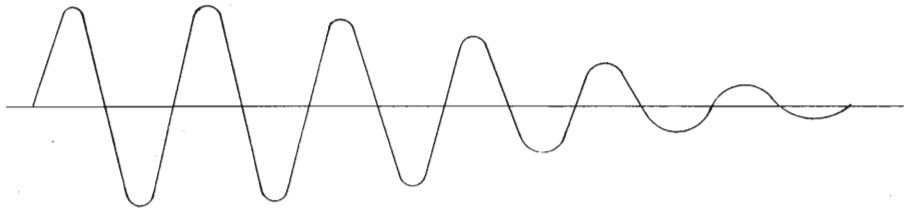
Nelle teste di cancellazione vengono realizzate le condizioni più favorevoli per ottenere un efficace campo decrescente nella zona di contatto nastro-testina.

Convenzionalmente, si considera cancellato il segnale registrato, quando il suo livello è sceso di 70 dB rispetto alla massima ampiezza di registrazione consentita.

2.4 - La lettura

Il campo magnetico variabile che appare nel traferro della testina di lettura, conseguente allo scorrimento del supporto, provoca un flusso nel circuito magne-

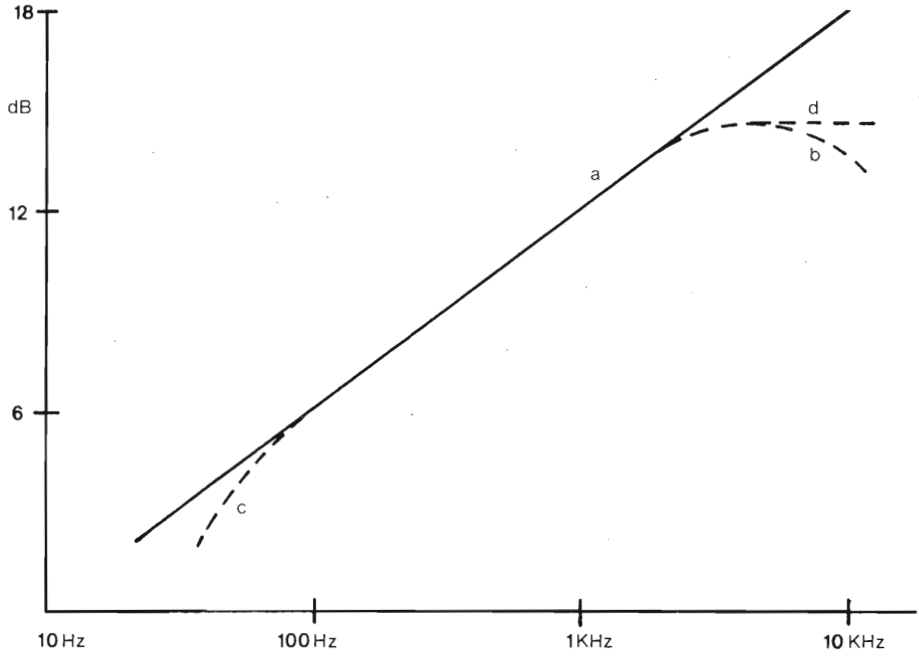

B
H



tico che, a sua volta, dà origine ad una forza elettromotrice, ai capi dell'avvolgimento, il cui valore è proporzionale al rapporto:

$$\frac{\delta \Phi}{\delta t}$$

ossia alla derivata del flusso rispetto al tempo. Essendo, come è logico, la velocità di scorrimento del supporto costante, la forza elettromotrice indotta risulta direttamente proporzionale alla frequenza del segnale registrato, con un incremento di 6 dB per ottava (figura 24).



Questo è infatti, ciò che si verifica, ma solamente fino ad una determinata frequenza-limite, oltre alla quale la curva che esprime la funzione citata, incominciando ad assumere un andamento discendente (curva tratteggiata b).

Il fatto è conseguente alle dimensioni fisiche del traferro, in rapporto con le dimensioni del periodo del segnale registrato. Chiamando Φ_M il valore massimo del flusso magnetico provocato dall'induzione residua del supporto, il valore istantaneo del flusso Φ sarà:

$$\Phi = \Phi_M \text{ sen } \omega t = \Phi_M \text{ sen } 2\pi f t \qquad [10]$$

Se **dt** è l'intervallo di tempo che un punto del supporto impiega a percorrere la lunghezza del traferro e **d**Φ la conseguente variazione del flusso, l'espressione

diventa:

$$d\Phi = (\Phi_M \operatorname{sen} \omega t)\, dt \qquad [11]$$

Chiamando, quindi, **v** la velocità di scorrimento del nastro ed **l** la lunghezza del traferro, sostituendo a **dt** il rapporto **l/v** si ottiene:

$$d\Phi = (\Phi_M \operatorname{sen} \omega t)\, l/v \qquad [12]$$

ed il valore efficace del flusso Φ:

$$\Phi' = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\Phi_M \operatorname{sen} \omega t \; \frac{dt \cdot \operatorname{sen} \pi f}{dt \cdot \pi f}\right) dt \qquad [13]$$

Sostituendo ad f il valore $\frac{v}{\lambda}$:

$$\Phi' = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\Phi_M \operatorname{sen} \omega t \; \frac{dt \cdot \operatorname{sen} \pi \frac{v}{\lambda}}{dt \cdot \pi \frac{v}{\lambda}}\right) dt \qquad [14]$$

da cui:

$$\Phi' = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\Phi_M \operatorname{sen} \omega t \; \frac{\operatorname{sen} \pi \frac{l}{\lambda}}{\pi \frac{l}{\lambda}}\right) dt \qquad [15]$$

L'ultima espressione è funzione del rapporto $\dfrac{\operatorname{sen}\pi \frac{l}{\lambda}}{\pi \frac{l}{\lambda}}$

che, a sua volta, è funzione della frequenza.

Il caso limite è rappresentato dalla condizione $l = \lambda$ nella quale, essendo:

$$\frac{\operatorname{sen} \pi \; l/\lambda}{\pi \; l/\lambda} = \frac{\operatorname{sen}\pi}{\pi} = 0$$

la [15] si annulla e si ottiene $\Phi' = 0$.

Per $-l/\lambda > 1$ riapparirà il flusso Φ', che avrà un nuovo zero per $l/\lambda = 2$ e così di seguito.

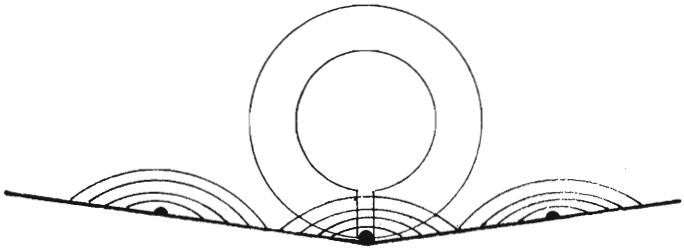
La tabella seguente fornisce le lunghezze dell'onda registrata in funzione della frequenza per una velocità del supporto magnetico di 19,05 cm/sec.

TABELLA 1

Frequenza Hz	30	50	100	200	500
mm	6,35	3,81	1,9	0,95	0,38
Frequenza KHz	1	2	5	10	20
μm	190	95,2	38,1	19,05	9,5

Naturalmente per **v** = 38,1 cm/sec. λ risulta raddoppiata, mentre per la velocità di 9,53 cm/sec. viene dimezzata.

Nel processo di lettura, la lunghezza dell'area di contatto del nastro sulla testina è determinante nella risposta alle frequenze molto basse: se è più piccola di un semiperiodo del segnale registrato non tutto il flusso si chiude sulle espansioni polari (figura 25), provocando un'attenuazione del segnale indotto, come indicato nel tratto c della figura 24.



Poichè la condizione richiesta è di ricavare dal processo di lettura una caratteristica di frequenza lineare, è necessario predisporre nella catena di riproduzione gli oppurtuni circuiti equalizzatori.

2.5 Caratteristica di frequenza globale

Precise norme internazionali prescrivono le equalizzazioni di cui deve disporre l'amplificatore di registrazione per le diverse velocità del nastro (V. figura 48 e tabelle 3 e 4).

La normativa è stata stabilita per consentire lo scambio dei nastri fra magnetofoni di diversa provenienza.

L'equalizzazione assegnata all'amplificatore di registrazione riguarda la banda delle frequenze elevate (oltre i 3÷5 KHz, secondo la velocità) e tiene conto sia dell'attenuazione del flusso registrato, conseguente alla smagnetizzazione spontanea, sia di quella dovuta alle dimensioni del traferro della testina di lettura.

L'equalizzazione del preamplificatore di lettura si riduce, quindi, alla sola compensazione della banda di frequenze medio-basse (6dB per ottava).

Questo modo di procedere non è di alcun pregiudizio alla dinamica di registrazione, perchè la banda di frequenze udibili, al di sopra dei 5 KHz contiene, praticamente, solo armoniche, il cui livello è sempre molto basso rispetto a quello delle frequenze fondamentali.

3 Testine magnetiche

3.1 - Considerazioni generali

Le testine magnetiche destinate alla registrazione, cancellazione e riproduzione, pur essendo sostanzialmente uguali nella loro struttura, devono avere caratteristiche ben definite, in relazione ai diversi compiti che devono assolvere ed alle prestazioni qualitative.

Malgrado la loro apparente semplicità (non sono in definitiva che degli elettromagneti), richiedono un'altissima precisione di lavorazione e la soluzione di problemi tecnici di tale entità da renderne la fabbricazione difficile e costosa.

la scelta dei materiali destinati a formare il nucleo magnetico è uno dei punti dolenti. Chiaramente deve trattarsi di materiali magneticamente dolci, aventi cioè, induzione residua limitata e bassissima forza coercitiva.

Di regola, questo risultato si ottiene con leghe a base di ferro-nichel, quasi sempre contenenti piccole percentuali di altri metalli (molibdeno, cromo, ecc.), alle quali vengono fatti subire speciali trattamenti termici, in atmosfera riducente (generalmente idrogeno), a temperatura molto elevata.

Purtroppo, al conseguente addolcimento magnetico del materiale si accompagna un corrispondente addolcimento meccanico, che va a detrimento della durata della testina, soggetta alla continua abrasione provocata dallo sfregamento del nastro.

Questo spiega gli sforzi congiunti delle industrie specializzate nella produzione di queste leghe e di quelle che producono nastri magnetici, per incrementare la durezza meccanica dei nuclei e per ridurre l'azione abrasiva dei supporti magentici.

Gli sforzi in questo senso hanno condotto a risultati abbastanza soddisfacenti, con la creazione di leghe particolari, la più nota delle quali e, attualmente, la più usata, almeno per quanto si riferisce alla produzione europea, è il recovac 100®, prodotto dalla Vacuumschmelze GMBH, che, pur essendo molto più duro, meccanicamente, del mumetal, ancora abbastanza usato, ne mantiene all'incirca le stesse caratteristiche magnetiche.

Mentre in Europa si sono sviluppate queste leghe, in Giappone sono nati altri materiali di tipo ceramico, nonchè leghe sinterizzate.

Si tratta di ferriti con particolari requisiti e delle leghe tipo sendust (sen-alloy), che presentano ottime caratteristiche magnetiche e di resistenza all'usura.

La recente scoperta che lo stato cristallino pone un limite alle caratteristiche magnetiche del ferro e delle sue leghe, ha indotto le industrie del settore ad orientarsi verso la ricerca di procedimenti che consentissero di ottenere le leghe allo stato amorfo. Il risultato è stato, finora, conseguito dalla stessa Vacuumschmelze, che, con un originale procedimento, è riuscita ad ottenere il vitrovac®, un materiale allo stato amorfo, che possiede brillanti proprietà magnetiche, unite ad ottime caratteristiche meccaniche e di resistenza all'usura.

La tabella seguente riporta le caratteristiche delle principali leghe magnetiche meccanicamente dure, rapportate a quelle del mumetal, un tempo l'unica lega usata nella fabbricazione delle testine magnetiche e ancor oggi non del tutto abbandonata.

Tab. 2 - Caratteristiche delle principali leghe usate per le teste magnetiche

	Mumetall	Vacodur	Recovac 100	Vitrovac
Permeabilità iniziale	50.000	8.000	40.000	100.000
Permeabilità max	120.000	40.000	100.000	400.000
Saturazione (Gauss)	8.000	9.000	5.000	5.500
Coercitiva (A/m)	0,012	0,04	0,015	0,004
Durezza Vickers (HV)	105	250	220	1.000

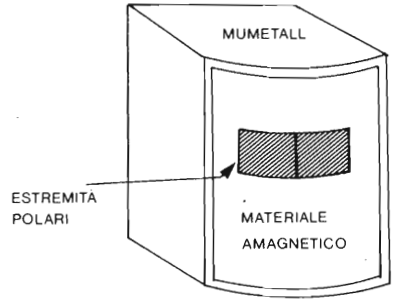
Era prevedibile che le industrie produttrici di testine magnetiche si sarebbero orientate verso queste leghe amorfe, come infatti già stanno facendo.

Le ferriti dolci vengono largamente usate anche in Europa, ma limitatamente alle teste di cancellazione. Si tratta di miscele contenenti ossidi di zinco e manganese oppure zinco e nichel, aggiunti nelle proporzioni dovute. Le polveri vengono miscelate, stampate a pressioni alte e, quindi, sottoposte a trattamento termico a temperature mai inferiori a 1.000°.

Il risultato è una ceramica estremamente dura, dal punto di vista meccanico, e resistentissima all'abrasione. Le principali caratteristiche magnetiche, che possono variare notevolmente, secondo la loro composizione ed il processo di produzione, sono approssimativamente: μ_4 = **5.000; B_s = 4.000; H_c = 0,08.**

Le ferriti dolci sono caratterizzate da un punto di Curie molto basso, rispetto a quello delle leghe ferro-nichel, tuttavia, entro i limiti compresi fra 0° e 60°, non si manifestano importanti variazioni delle caratteristiche magnetiche.

La superficie frontale della testina costituisce una specie di scudo convesso, di materiale amagnetico, munito di una finestra alla quale si affacciano le estremità polari del nucleo (figura 26). Generalmente lo scudo è costituito da due gusci, che si uniscono; serrando il nucleo e bloccandolo in modo rigido.



È molto importante che la superficie dello scudo, che viene a trovarsi a contatto del nastro, abbia la stessa resistenza all'abrasione delle estremità polari, onde evitare la formazione di gradini, causata dalla diversa durezza dei due materiali. A ciò viene provveduto impiegando particolari composti sinterizzati, che presentano adatte caratteristiche meccaniche, in genere a base di bronzo e zinco.

Tutta la superficie della testina che viene a trovarsi a contatto del nastro viene resa speculare, mediante lappatura, allo scopo di ottenere la perfetta aderenza nastro-testina, per una corretta riproduzione delle frequenze elevate.

Ad eccezione dello scudo frontale, la testina è completamente racchiusa in uno schermo ad altissima permeabilità, (generalmente mumetall), onde sottrarla all'influenza dei campi esterni.

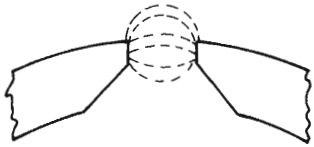
Un particolare importante, da tenere presente, riguarda il traferro delle testine magnetiche, siano esse di registrazione, di riproduzione o di cancellazione, parlando del quale si intende riferirsi allo spazio che separa le due espansioni polari. Nella realtà, però, lo spazio nel quale è concentrato il campo della testina è notevolmente maggiore, conseguentemente alla distribuzione delle linee di forza, a cui si è accennato in precedenza, illustrata nella figura 5.

Occorre perciò distinguere il **traferro meccanico** e quello che viene definito **traferro magnetico**. Quest'ultimo è, in definitiva, quello che ha veramente importanza a tutti gli effetti, ma è di difficilissima valutazione. L'indicazione delle dimensioni del traferro, che non manca mai nei cataloghi delle testine magnetiche e che si riferisce, ovviamente, al traferro meccanico, va perciò intesa solo in senso indicativo.

3.2 - Teste di registrazione

Nelle teste di registrazione la lunghezza del traferro è legata solo indirettamente alla caratteristica di frequenza del segnale registrato, in quanto quest'ultimo dipende dall'intensità del campo magnetizzante, nell'istante in cui il punto considerato del supporto magnetico, dopo avere percorso tutta la lunghezza del traferro stesso, viene a trovarsi sul bordo dell'estremità polare (capitolo II § 2).

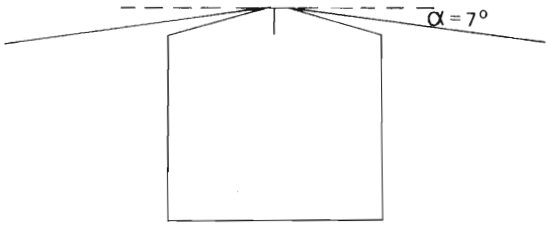
Ciò sarebbe vero se il campo magnetico all'esterno delle espansioni polari avesse l'andamento visibile nella figura 27.



Purtroppo, una simile distribuzione del campo non è ottenibile in pratica (v. in proposito Cap. 1 § 4) e bisogna accontentarsi di avvicinarsi il più possibile alla condizione ideale, che dipende, oltre che dalla lunghezza del traferro, dall'intensità del campo, dalla forma delle estremità polari e dalla permeabilità del nucleo.

A parità di altre condizioni, un traferro troppo lungo tende ad accentuare l'espandersi delle linee di forza del campo, con conseguente aumento dell'effetto di smagnetizzazione spontanea del supporto, mentre uno troppo corto va a detrimento del rendimento della testina. In pratica viene scelta una soluzione di compromesso, consistente nell'assegnare al traferro una lunghezza compresa fra i 10 e 20 μm, notevolmente maggiore di quella necessaria per le teste di lettura.

Sempre allo scopo di ridurre il fenomeno della smagnetizzazione spontanea, la forma delle espansioni polari è tale da ridurre al minimo la lunghezza della zona di appoggio del nastro (figura 28), grazie ad un raggio di curvatura molto piccolo, e viene impiegato per il nucleo un materiale ad alta permeabilità.



Una valida soluzione può consistere anche nell'introdurre volutamente una certa assimetria nel campo (figura 29) mediante una sagomatura differenziata delle due estremità polari.

Oltre al normale traferro, che viene sovente chiamato «di lavoro» la maggior parte delle testine di registrazione ha un secondo traferro, situato a 180° rispetto all'altro, il cui scopo è quello di ridurre il pericolo che permanga nel nucleo una magnetizzazione residua (che sarebbe inevitabilmente causa di rumore di fondo), e nel medesimo tempo di mantenere bassa l'induttanza della testina.

Che l'induttanza sia bassa è molto importante, per evitare che, con la capacità distribuita dell'avvolgimento, sommata alla capacità dell'eventuale cavo di collegamento all'amplificatore, entrambe in parallelo, la testina entri in risonanza di tensione sulla frequenza di polarizzazione. Se questo accadesse, sarebbe necessaria una tensione di polarizzazione eccessivamente alta, per far scorrere nella testina la necessaria corrente. L'induttanza normalizzata, per le testine di registrazione professionali, è di 7 mH.

Il traferro viene, di norma, mantenuto con uno spessore di rame al berillio, che si presta in modo particolare, poichè la sua durezza si avvicina a quelle delle leghe magnetiche.

3.3 - Testine di lettura

La testa di lettura è quella che presenta i maggiori problemi tecnologici, perchè, a cuasa dell'esiguità del campo magnetizzante, è necessario mantenere più alto che sia possibile il suo rendimento.

Il traferro deve essere, necessariamente, molto corto, per evitare un'eccessiva caduta del segnale di uscita alle frequenze elevate e ciò riduce la forza elettromotrice indotta nell'avvolgimento.

Già da queste semplici considerazioni si può dedurre che le condizioni essenziali per raggiungere il massimo delle prestazioni, sono l'altissima permeabilità iniziale del nucelo, con una forza coercitiva trascurabile e bassa induzione residua.

Al contrario, non è di alcun pregiudizio una bassa induzione di saturazione,

perchè il ciclo di lavoro del circuito magnetico è sempre contenuto nella zona di permeabilità iniziale.

Poichè la forza elettromotrice **E**, che appare ai capi dell'avvolgimento della testina, è legata al flusso indotto nel circuito magnetico dalla relazione:

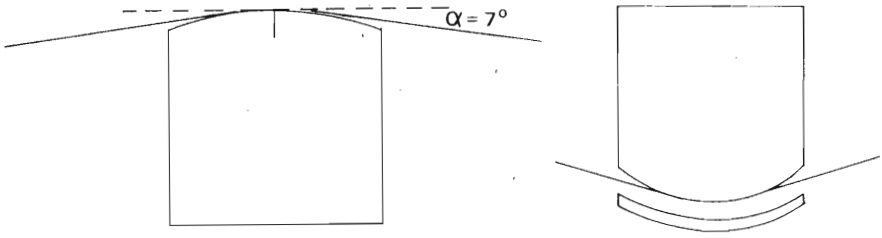
$$E = N \frac{\delta \Phi}{\delta t}$$

(in cui **N** è il numero di spire della bobina), alle più basse frequenze della banda udibile, il segnale di uscita risulta estremamente piccolo. Questo fatto impone di assegnare alla bobina il numero di spire più elevato possibile, il che comporta un conseguente aumento dell'induttanza della testina. Quantunque nei magnetofoni per uso domestico ed in modo particolare in quelli a cassetta, non sia raro trovare testine di lettura aventi un'induttanza di molte centinaia di millihenry, nelle apparecchiature a livello professionale è stato normalizzato il valore di 80 mH, onde non incorrere in fenomeni di risonanza, che causerebbero dannose anomalie nella caratteristica di frequenza.

Il traferro è, in genere, contenuto nei limiti di 5/6 micron, mediante un opportuno spessore di rame al berillio, e le espansioni polari sono sovente conformate in modo da presentare una zona di contatto col nastro (figura 30) sufficiente a ridurre l'attenuazione delle più basse frequenze (v. cap. II § 4 e figura 25). Sovente anche le testine di lettura dispongono di un secondo traferro a 180°.

La schermatura magnetica delle testine di lettura è importantissima, proprio in conseguenza del basso livello del segnale utile ed anche i cavetti di uscita devono essere opportunamente schermati. Bisogna sempre tenere presente che la testina di lettura tende a raccogliere tutti i campi magnetici presenti, generati da cause esterne.

Quasi sempre, davanti al traferro della testina viene applicato uno scudo di materiale ad alta permeabilità, alla distanza di alcuni millimetri, appena sufficienti per lasciare il libero passaggio al nastro (figura 31).



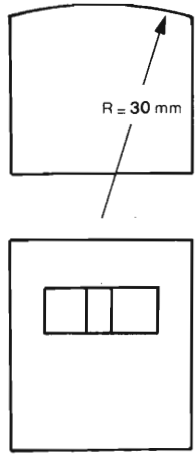
3.4 - Testine di cancellazione

Si è visto (cap. 2 paragrafo 3) che la cancellazione dei segnali registrati sul supporto magnetico avviene in due tempi. Dapprima il nastro subisce un campo alternativo, che lo porta ripetutamente alla saturazione, quindi un campo decrescente, che annulla l'induzione residua, riportandolo allo stato vergine. Siccome nulla limita le dimensioni del traferro, che nelle testine di cancellazione è vantaggioso sia molto lungo, la permeabilità del nucelo non ha molta importanza. L'induzione di saturazione non deve essere molto bassa, per evitare il pericolo che il nucleo si saturi prima di avere saturato il supporto magnetico, ma anche questo pericolo è molto remoto, se si tiene conto della lunghezza notevole del traferro. Per questo assieme di ragioni, si conclude che il materiale ideale per il nucleo delle testine di cancellazione è la ferrite dolce, che, per di più, offre il vantaggio di una eccellente resistenza all'abrasione.

Di regola, le moderne testine dispongono di due traferri, distanziati fra loro di loro alcuni millimetri, che rendono più efficace il processo di cancellazione; la loro lunghezza si aggira sui 200 micron.

Il raggio di curvatura della superficie di appoggio nastro-testina è grande (30 mm.) e i traferri vengono ottenuti mediante spessori di materiali isolanti (vetro o ceramiche) onde ridurre le perdite per correnti di Foucault. Il disegno schematico di figura 32 mette in evidenza il raggio di curvatura delle espansioni polari e la posizione dei due traferri.

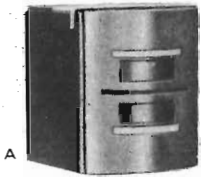
Le teste di cancellazione hanno sempre un'induttanza molto bassa, per evitare risonanze di tensione alla frequenza ultraudibile. Per le testine professionali l'induttanza normalizzata è di 1,6 millihenry.



3.5 - Testine multiple

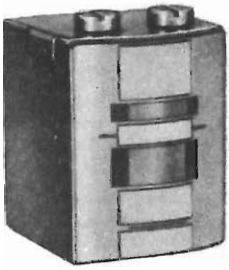
Per soddisfare le esigenze della stereofonia e, soprattutto, quelle delle industrie discografiche e cinematografiche, sono nate le testine multiple, che consentono di registrare diverse piste su di un unico supporto magnetico.

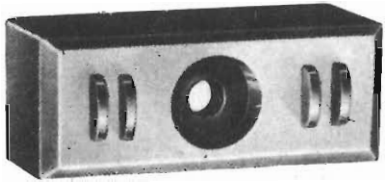
Non si tratta, in definitiva, che di un raggruppamento di normali testine, già considerate nei precedenti paragrafi di questo capitolo, ma la necessità del perfetto allineamento dei traferri, le strettissime tolleranze consentite alle interdistanze delle espansioni polari ed, infine, la diafonia, inevitabile in raggruppamenti di più circuiti magnetici in così poco spazio, fanno sorgere problemi tecnologici non indifferenti, che incidono pesantemente sul costo di queste testine. La figura 33 mostra alcune teste multiple photovox, rispettivamente: a) testina due piste per nastri da 1/4"; b) 4 piste per nastri da 1/2"; c) 8 piste per nastri da 1/2"; d) 2 piste per nastro perforato 16 mm, per registrazione su pista centrale e laterale ed e) testina di lettura per film cinemascope magnetici (4 piste). Si tratta di testine a livello professionale, come tutte quelle descritte fin qui.


A

B

C


D


E

Le testine stereo per registratori «domestici» sono sempre a due piste, anche se la maggior parte dei nastri registrati in commercio dispongono di quattro piste, per consentire di condensare su di un solo nastro due brani musicali.

In questo caso, ciascuna pista del nastro occupa poco menp di 1/4 della sua larghezza e le quattro piste sono disposte secondo l'ordine di figura 34. Dopo che la testa ha letto o registrato ad esempio, le piste 1 e 2, al termine del brano, scambiando semplicemente fra di loro le due bobine, la testina troverà impegnate le piste 4 e 3.

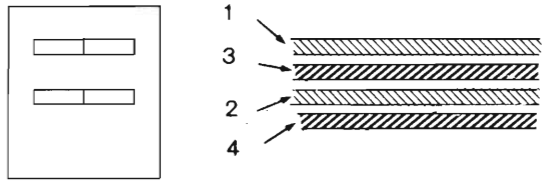


Figura 34

Questa disposizione delle piste viene usata perchè consente di allontanare le due teste quanto basta per lasciare spazio sufficiente per gli avvolgimenti e di contenere entro valori accettabili la diafonia che, inevitabilmente, sarebbe assai più elevata se i traferri delle due testine fossero più vicini.

Queste testine, previste per nastri da 1/4", pur fornendo risultati soddisfacenti, non sono a livello professionale, come non lo sono, del resto, le apparecchiature a cui sono destinate; soprattutto il problema dello spazio impone serie limitazioni. A causa delle dimensioni ridotte di ciascuna pista, il livello di uscita delle teste di lettura di questo tipo è molto basso; per compensare questo inconveniente, molte apparecchiature impiegano testine aventi un'induttanza assai alta che, chiaramente, forniscono un segnale più elevato, ma questa soluzione impone serie limitazioni alla banda di frequenze riproducibili senza incorrere in nocive risonanze; la soluzione è comunque valida solo per magnetofoni a livello amatoriale di classe non elevata. Nella figura 35 sono indicate le dimensioni relative a testine di questo tipo della Bogen GMBH e la figura 36 ne mostra l'aspetto esterno.

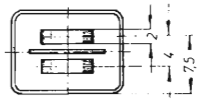


Figura 35

Figura 36

I magnetofoni a cassette impiegano nastri da 3,81 mm. Le testine possono essere: monopista, a due piste e stereo. Le testine per due piste dispongono di un solo circuito magnetico disassato rispetto al nastro, in modo che capovolgendo la bobina si possono registrare o leggere alternativamente una pista o l'altra, mentre le stereo sono previste per registare o leggere simultaneamente le due piste e contengono, perciò, due circuiti magnetici.

Tanto le testine a pista unica che quelle per due piste non presentano alcun particolare degno di nota; si tratta, comunque, di componenti aventi prestazioni limitate, come del resto lo sono quasi tutti i registratori di quetso tipo. La figura 37 illustra una testina monopista per cassette e la figura 38 i dettagli dimensionali di una testa per due piste.

Figura 37

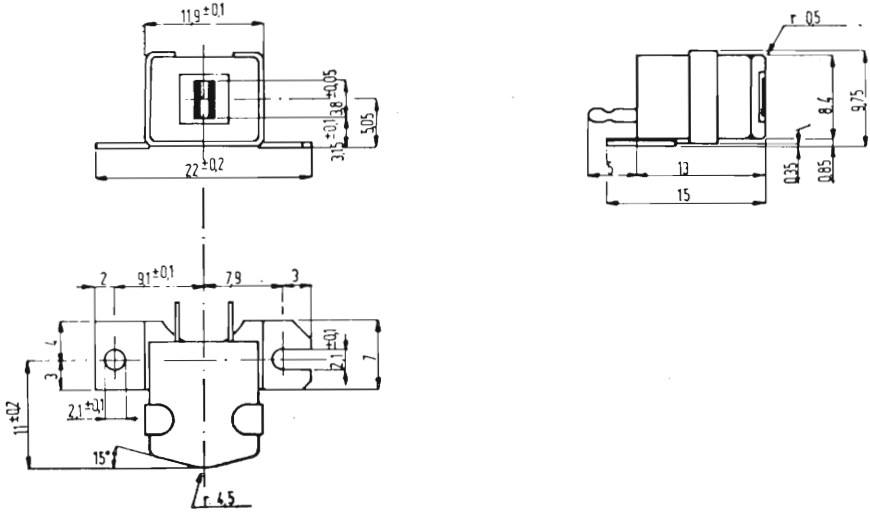


Figura 38

La versione stereo comprende due circuiti magnetici, ma lo spazio disponibile fra i due non consente, ovviamente, l'alloggiamento delle bobine. Si è dovuto, perciò, ricorrere alla sistemazione visibile in figura 39; i due circuiti magnetici sono inclinati e le estremità polari formano un angolo opportuno, rispetto al piano dei nuclei, presentandosi, così al nastro perfettamente parallele e sul medesimo piano.

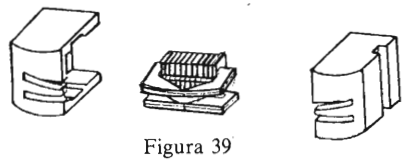


Figura 39

Naturalmente, poichè i traferri sono estremamente ravvicinati (figura 40), queste testine presentono una diafonia notevole. Una caratteristica comune alle testine per registratori a cassetta è una lunghezza molto ridotta del traferro (non superiore a 3-4 micron) conseguente alla bassa velocità del nastro, che va, naturalmente, a detrimento del rendimento. L'induttanza non è regolamentata da alcuna norma e segue, di regola, le richieste del mercato, il più delle volte dettate da problemi economici, piuttosto che da esigenze tecniche.

Figura 40

3.6 - Testine combinate

Alcuni registratori amatoriali a bobina e quasi tutti i registratori a cassette, fanno uso di due sole testine: una per la cancellazione ed una che serve sia per la registrazione che per la riproduzione.

Da quanto si è visto nei precedenti paragrafi, questo modo di procedere impone, per quanto riguarda la testina, soluzioni di compromesso fra diverse esigenze, alcune delle quali non facilmente consigliabili.

In considerazione della bassa velocità di scorrimento del nastro, i traferri sono molto piccoli, per consentire di riprodurre una banda di frequenze, quantomeno, accettabile e ciò va a detrimento del rendimento, nella fase di registrazione. Anche i

valori dell'induttanza si adattano male alle due funzioni che la testina deve svolgere.

La testina di cancellazione è, naturalmente ad impedenza molto bassa: alcuni magnetofoni impiegano una testina il cui avvolgimento dispone di una presa centrale (figura 41), che consente di affidarle la doppia funzione di bobina oscillatrice e di, testina di cancellazione.

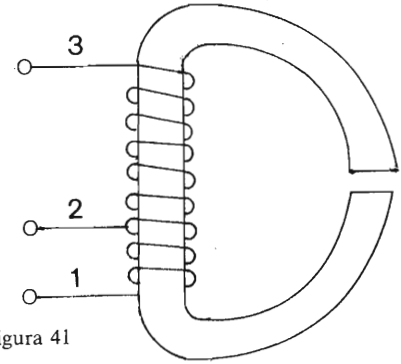


Figura 41

3.7 - Posizionamento delle testine magnetiche

Affinchè resti sosdisfatta la condizione di fedeltà, per quanto si riferisce alla banda di frequenze riprodotta, è essenziale che il traferro della testina di registrazione e quello della testina di lettura siano rigorosamente paralleli. Poichè, di norma, un nastro registrato su un apparecchio deve essere in grado di venire riprodotto con qualsiasi altro apparecchio, anche di marca differente, è stato stabilito (che il traferro sia, in ogni caso, normale al senso di scorrimento del nastro.

La posizione del traferro, che viene in gergo chiamata azimut, è rappresentata nella figura 42 ed è molto critica. L'attenuazione delle frequenze alte, che è la conseguenza di un azimut non corretto, può venire calcolata mediante l'equazione:

$$A = 10 \log_{10} \frac{\text{sen} \dfrac{\pi \cdot h \cdot \text{tg}\alpha}{\lambda}}{\dfrac{\pi \cdot h \cdot \text{tg}\alpha}{\lambda}}$$

in cui:

A = attenuazione in dB

h = altezza del traferro

α = differenza fra gli angoli dei traferri

λ = lunghezza d'onda del segnale registrato

Mediante la relazione si può facilmente calcolare che una differenza fra gli angoli dei traferri di poche decine di minuti primi può essere la causa di una attenuazione inaccettabile delle alte frequenze. Come è intuibile, l'azimut diventa tanto più critico, a parità di altre condizioni, quanto più alto è il traferro.

Altrettanto importante, e non meno critico dell'azimut, è il parallelismo del

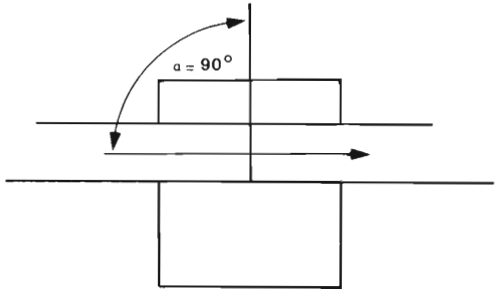


Figura 42

piano su cui riposa il traferro, rispetto al piano di scorrimento del nastro. Mancanza di parallelismo significa non uniforme aderenza del supporto al traferro e coloro che ne fanno le spese sono ancora le frequenze più alte.

Analogo inconveniente, sovente accompagnato anche da abbassamento del livello generale del segnale e talvolta anche da distorsione, si verifica quando l'asse delle testine non è perfettamente ortagonale rispetto al piano di scorrimento del supporto magnetico (figura 43).

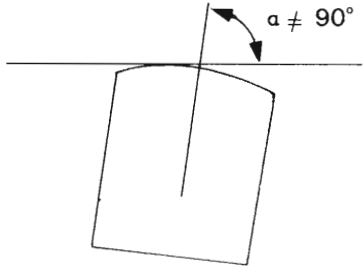


Figura 43

Di regola, l'altezza del traferro delle tre testine (cancellazione, registrazione e lettura), previste per una determinata larghezza di pista, non è rigorosamente

uguale (figura 44). Nella testina di lettura è leggermente minore che non in quella di registrazione, mentre in quella di cancellazione è maggiore. Questo viene fatto perchè è bene che la testina di riproduzione non si trovi mai a leggere il margine della pista, cosa che potrebbe causare rumore di fondo. La testa di cancellazione, invece, dispone di un traferro più alto, allo scopo di assicurare un'efficace cancellazione, senza incorrere nel pericolo che rimangono residui di segnali ai bordi della pista.

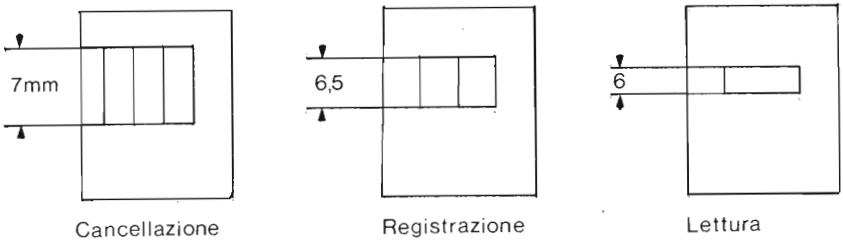


Figura 44

Questo accorgimento è molto utile perchè, essendo l'allineamento delle testine molto critico, consente una leggera tolleranza che facilita la messa a punto del registratore.

Nei precedenti paragrafi si è più volte accennato all'importanza della lunghezza della superficie di appoggio del nastro sulle espansioni polari e si è visto come il raggio di curvatura delle testine, destinate alle diverse funzioni, sia differente, proprio per poter raggiungere le migliori condizioni. Questo provvedimento non avrebbe, però, alcun significato se non venisse definito l'angolo formato dal piano di scorrimento del nastro con la tangente al punto delle espansioni polari dove si trova il traferro. Come indicato nelle figure 28 e 30, per le testine professionali ed anche per la maggior parte di quelle di uso domestico, viene normalmente consigliato un angolo di circa 7°.

Poichè una insufficiente pressione del nastro sulle espansioni polari può provocare una attenuazione delle alte frequenze, mentre una pressione eccessiva condurebbe fatalmente ad un logorio troppo rapido sia delle testine che del supporto magnetico, i rispettivi fabbricanti consigliano una pressione da 30 a 50 grammi secondo lo spessore del nastro, che viene considerata il compromesso più favorevole.

Nelle apparecchiature a livello professionale le testine vengono montate su supporti che, mediante viti micrometriche, ne consentono il brandeggio e l'esatta regolazione dell'altezza, rispetto all'asse del supporto magnetico. L'esatto posizio-

namento delle testine è di estrema importanza per una corretta registrazione e riproduzione; inoltre, vi è anche da considerare che una cattiva regolazione conduce, inevitabilmente, ad un consumo irregolare delle espansioni polari, che riduce in modo notevole la durata della testina.

Nei registratori di tipo domestico ed anche in molti apparecchi cosiddetti HiFi o semiprofessionali, l'aggiustaggio delle testine viene eseguito, una volta per tutte, al momento del collaudo e non consente alcuna successiva regolazione. Sotto un certo aspetto, questo può essere un vantaggio, perchè l'esatta messa a punto del gruppo di testine, pur non presentando serie difficoltà, esige una certa esperienza ed una strumentazione di cui generalmente, l'amatore non dispone.

4 Il supporto magnetico

4.1 - Caratteristiche fisiche del supporto

L'evoluzione del supporto magnetico è culminata nel 1927, quando O'Neill realizzò il primo supporto costituito da un nastro di carta sul quale era deposto un sottile strato di ferrite, ridotta in polvere impalpabile e mescolata ad un legante. Naturalmente, lo sviluppo tecnologico non si è arrestato e grandi passi si sono fatti da allora, ma è rimasto fermo il criterio di base, che ha consentito di realizzare un supporto estremamente flessibile e sottile; è certo che ai grandi progressi compiuti dalla registrazione magnetica, che in un intervallo di tempo relativamente breve, ha superato, qualitativamente,ogni altro sistema di registrazione, ha contribuito in larga misura questo tipo di supporto.

La sua flessibilità permette di realizzare un contatto perfetto con la zona interessata delle espansioni polari della testa magnetica, che non sarebbe certo realizzabile con un supporto metallico, sia pure sottilissimo, a meno di ricorrere a pressioni nastro-testina inaccettabili.

Nei moderni nastri magnetici, la carta, poco adatta allo scopo a causa del suo carico di rottura eccessivamente basso e della sua elevata igroscopicità, è stata sostituita da laminati plastici (prevalentemente poliestere tensilizzato o, più raramente, specie nei nastri perforati destinati all'industria cinematografica, triacetato di cellulosa).

Le larghezze standard dei nastri sono: 25,4; 12,7; 6,35; 3,81 millimetri; alcune case producono anche il nastro da 1.5", pari a 38,1 mm; a questi vanno aggiunti i

nastri perforati per cinematografia, nei classici formati 35 mm, 16 mm e super 8. Lo spessore varia in ragione della larghezza e, ovviamente, della velocità ed è compreso fra una decina di micron a 80 micron, per i nastri in poliestere, mentre si aggira sui 120 micron per quelli in triacetato di cellulosa; a questi spessori vanno aggiunti quelli del rivestimento magnetico, che possono variare fra i 4 ed i 12 micron.

Lo strato magnetico è costituito da minutissime particelle di ferrite o di boissido di cromo, disperse in un legante nelle giuste proporzioni, in modo da formare una pasta fluida, e viene applicato al nastro di base mediante macchine che consentono di controllare con grande precisione l'afflusso della miscela, in modo da ottenere un deposito dello spessore desiderato ed assolutamente uniforme.

Al collante si richiedono particolari proprietà, le più importanti delle quali sono un elevato potere adesivo ed una buona elasticità. Il nastro di poliestere che costituisce la base del supporto magnetico, subisce opportuni trattamenti superficiali, che favoriscono l'adesione dello strato magnetizzabile.

Prima di essere posti in commercio, i nastri vengono passati in una speciale calandra, onde renderne la superficie più liscia possibile, ma, malgrado ciò, esercitano sempre una leggera azione abrasiva che, a lungo andare, rende inservibili le testine (V. Cap. III § 1).

L'usura del deposito magnetico del nastro dipende dalla sua qualità: esistono in commercio nastri veramente buoni, che consentono decine di migliaia di passaggi prima di mostrare un apprezzabile degrado, ma non tutti sono così. Un nastro scadente e difettoso viene facilmente individuato dal deposito che lascia sulle testine, provocando un'attenuazione delle alte frequenze. Se le testine richiedono frequenti pulizie, ciò è senz'altro indice di nastri scadenti.

Sui registratori professionali o, comunque, di alto livello qualitativo, è di primaria importanza l'impiego di nastri ottimi: ne avvantaggia sia la qualità della registrazione, sia la durata delle testine.

Naturalmente, quanto si è detto è legato alla pressione nastro-testina. È chiaro che quanto più bassa è la pressione tanto maggiore risulterà la durata delle testine e quella dei nastri. Anche la natura del materiale che costituisce lo strato magnetico è determinante nell'usura delle testine; il biossido di cromo, ad esempio, è molto più abrasivo della ferrite e questo è, certo, uno degli inconvenienti che limitano una maggiore diffussione di questo tipo di deposito magnetico.

4.2 - Caratteristiche magnetiche

La ferrite ($\gamma F_{e2}O_3$) è il materiale magnetico più comunemente usato nella fabbricazione dei nastri e si presenta come una polvere impalpabile, formata da minutissimi cristalli aghiformi di colore rossiccio; è un sale chimicamente molto stabile, di costo limitato e dispone di una forza coercitiva elevata, che è una delle più importanti qualità che deve possedere il supporto magnetico, affinchè gli eventi registrati si mantengono nel tempo.

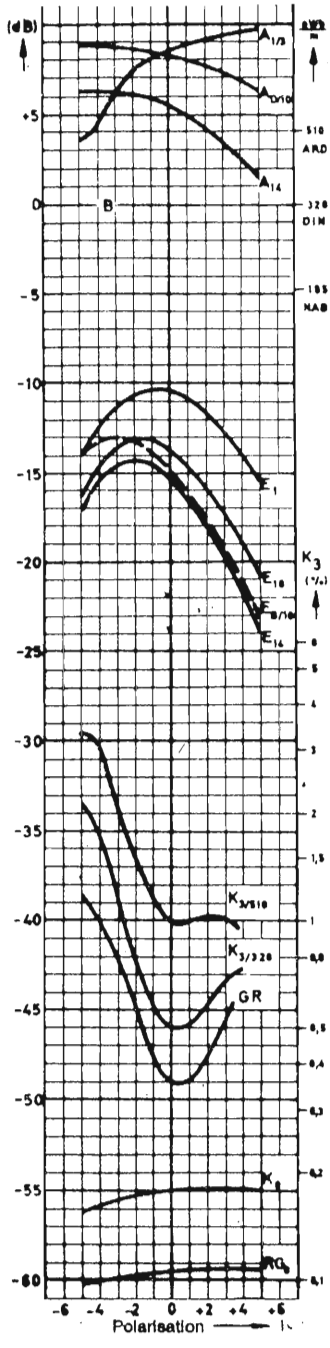


Figura 45 (a)

Nastro poliestere Fe_2O_3 larghezza mm 6,35 - spessore dello strato magnetico 14 μm - spessore totale 50 μm - Campo coercitivo 330 O_e - Flusso residuo dopo saturazione 154/mM/mm

Condizioni di misura
Velocità di scorrimento 38.1 cm/s. - equalizzazione 35 μs - livello di riferimento 32 mM/mm (320 μWb/m).
Le curve sono ricavate in funzione della corrente di polarizzazione, riferita al valore ottimo
B = Livello di riferimento (0 dB)
E_1 = Sensibilità a 1 kHz
E_{10} = Sensibilità a 10 kHz
$E_{b/10}$= Sensibilità del nastro di riferimento a 10 kHz
E_{14} = Sensibilità a 14 kHz
$A_{1/3}$ = Massimo livello di registrazione con K_3 = 3%
A_{14} = livello di registrazione a 14 kHz
$K_{3/320}$ = distorsione al livello di riferimento
$K_{3/510}$ = distorsione a 520 h Wb/m (51 mM/cm)
RG_0 = Rumore di fondo (pesato)

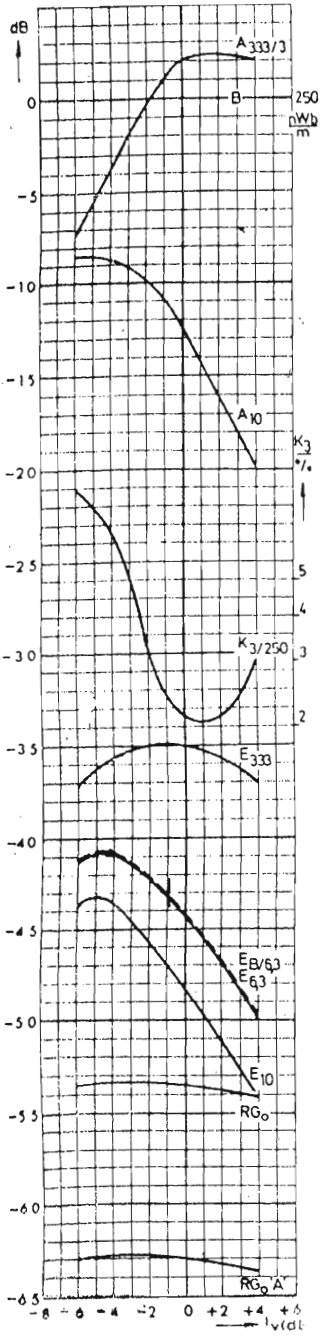


Figura 45 (b)

Nastro poliestere C_rO_2 larghezza mm 3,81 - spessore dello strato magnetico 5,5 μm. Campo coercitivo 470 0_e - Flusso residuo dopo saturazione 77 mM/mm.

Condizioni di Misura

Velocità di scorrimento 4.76 cm/s. Equalizzazione 70 + 3180 μs
Livello di riferimento 25 mM/mm (250 mWb/m).
B = livello di riferimento (0dB)
E_{333} = Sensibilità a 333 Hz
$E_{6,3}$ = Sensibilità a 6,3 kHz
$E_{b\,6,3}$ = Sensibilità del nastro di riferimento
E_{10} = Sensibilità a 10 kHz
K3/250 = distorsione a 250 m Wb/m (25 mM/mm)
$A_{333/3}$ = Massimo livello di segnale di registrazione a K_3 = 3%
A_{10} = Massimo livello di segnale a 10 kHz
RGoA = rumore di fondo (pesato).

Le caratteristiche magnetiche dei vari nastri in commercio sono poco dissimili; ne viene, di norma, indicato il valore del flusso residuo alla saturazione e la forza coercitiva. Le industrie produttrici, generalmente,indicano anche le caratteristiche meccaniche e dimensionali e corredano il tutto con delle curve rappresentative della sensibilità, del massimo livello di uscita, della distorsione e del rumore di fondo, in funzione della corrente di polarizzazione e della frequenza: le curve sono riferite ad uno zero dB, stabilito dalle norme DIN, corripsondente ad un flusso di 32 mM/mm e ad una frequenza di 1 kHz, per registrazioni alla velocità di 38,1 e 19,05 cm/sec. e ad un flusso di 25 mM/mm e frequenza di riferimento di 333 Hz per le velocità più basse (figura 45).

La ferrite è, tutt'oggi, il materiale di più largo impiego nella produzione di nastri magnetici ed è prevedibile che anche in avvenire manterrà una posizione di primissimo piano. L'impiego del biossido di cromo ($C_r O_2$), entrato nell'uso in tempi abbastanza recenti, presenta, rispetto alla ferrite, il vantaggio, non certo trascurabile, di una forza coercetiva più elevata (circa 450 O_e contro il 300 O_e della ferrite), ma vi contrappone due seri inconvenienti: quello di essere molto più abrasivo, come già si è accennato a proposito del logorio delle testine magnetiche, e di essere un sale chimicamente poco stabile, soggetto ad alterarsi col trascorrere del tempo, con conseguente notevole degradazione delle proprietà magnetiche e, in ultima analisi, delle qualità delle registrazioni. Qualche casa produttrice di nastri ha tentato soluzioni di compromesso, usando entrambi i sali, mescolati in proporzioni convenienti, ma nastri di questo tipo hanno, tuttora, carattere sperimentale ed ancora non si sa se offriranno apprezzabili vantaggi, rispetto a quelli in ferrite pura.

Sono, al contrario, di notevole interesse le ricerche in atto presso le industrie del settore, per sostituire alla ferrite le polveri metalliche (ferro o leghe ferromagneti-

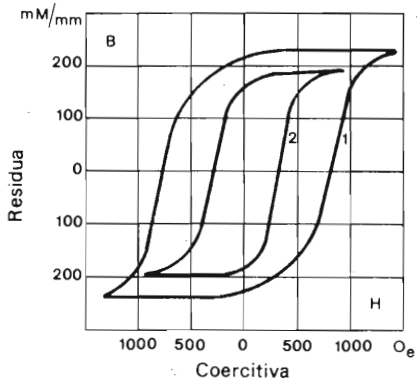


Figura 46 - Caratteristiche del nastro con deposito metallico

che). I risultati conseguiti nei laboratori di ricerca sono molto incoraggianti: purtroppo, però, fino a questo momento, la produzione su piano industriale è ostacolata da grossi problemi tecnologici di cui ancora non si riesce ad intravedere una valida soluzione.

Il giorno in cui il nastro con deposito metallico potesse venire immesso sul mercato, la tecnica delle registrazioni magnetiche farebbe certo un nuovo balzo in avanti, perchè verrebbe a disporre di un supporto magnetico avente una forza coercitiva ed una induzione residua molto più alte che non la ferrite.

La conseguenza sarebbe una caratteristica di frequenza lineare con una minore equalizzazione ed un più elavato valore del rapporto segnale/disturbo.

4.3 nastri perforati

L'industria cinematografica ha trovato nella registrazione magnetica un valido aiuto, soprattutto durante le varie fasi della lavorazione dei film (doppiaggio, mixaggio, ecc.) L'eccellente qualità di riproduzione e la possibilità di controllo immediato della registrazione ottenuta hanno segnato una vera svolta nei procedimenti di produzione, che ha avuto riflessi positivi sia sul piano tecnico che su quello economico. Una evoluzione analoga a quella che ha interessato l'industria discografica.

Naturalmente, per evidenti motivi di sincronizzazione, i nastri usati in cinematografia hanno ai bordi una perforazione, identica a quella della pellicola che reca l'immagine e vengono trascinati da rocchetti dentati.

Come materiale di base si va diffondendo il poliestere, tuttavia anche il triacetato di cellulosa trova ancora largo impiego e da alcuni «fonici» viene preferito.

Il deposito magnetico, esclusivamente di ferrite, è in tutto e per tutto uguale a quello dei nastri convenzionali per alte velocità e uguali sono, di conseguenza, le caratteristiche magnetiche.

Terminate le fasi di lavorazione e ottenuta, così, l'intera colonna sonora del film, viene fatto il riversamento su materiale sensibile, per ottenere una colonna a registrazione ottica, che viene poi utilizzata per ricavare le copie.

Anni fa, uno dei più importanti stabilimenti cinematografici americani presentò il «cinemascope» stereo: anche le copie destinate alla proiezione erano a pista magentica, cosicchè la qualità del suono era eccezionalmente buona. Le piste erano quattro, due delle queli disposte all'esterno della perforazione, e venivano lette con un gruppo di testine opportunamente dimensionate (figura 33).

Il costo eccessivamente elevato di questi film ne ha però ostacolato la diffusione: oggi la stereofonia è stata quasi completamente abbandonata ed i film cinemascope vengono messi in circolazione con una normale pista ottica.

Si può menzionare, a solo titolo informativo, un ulteriore tentativo fatto, in epoca abbastanza recente, dall'industria cinematografica: il sistema Todd AO. Impiegava un film della larghezza di 70 mm., doppia di quelli dei film tradizionali, e disponeva di ben sei piste magnetiche, con le quali realizzava qualcosa di simile alla quadrifonia.

Il successo commerciale è stato misero, e l'idea è morta sul nascere, soprattutto perchè il risultato finale, sebbene rimarchevole, non compensava certamente nè il costo degli impianti di proiezione necessari, nè quello delle pellicole.

5 L'equipaggiamento elettronico

5.1 - Criteri generali di progetto

All'equipaggiamento elettronico destinato a corredare un registratore magnetico, si richiedono prestazioni ed accorgimenti particolari, che vanno messi in relazione con le caratteristiche di frequenza sia della registrazione che della lettura, con la necessità di disporre di una corrente a frequenza ultraudibile e con le conseguenze che possono derivare dalla sua presenza e, soprattututo, con il fatto che sia il trasduttore di uscita della catena di registrazione, che quello di entrata della catena di lettura sono, in definitiva, delle induttanze quasi pure, anzichè approssimativamente delle resistenze, come avviene nella maggioranza degli amplificatori.

Nella progettazione di un amplificatore, sia esso destinato alla registrazione che alla riproduzione, è, quindi, necessario seguire criteri e scelte che si uniformino a tali circostanze e che si scostano notevolmente da quelle norme che, di regola, fanno testo nella progettazione dei normali amplificatori per frequenze acustiche.

Lo schema a blocchi della figura 47 rappresenta la catena di registrazione e quella di lettura, limitatamente agli elementi connessi alle relative testine, prescindendo degli altri componenti non aventi stretta attinenza col problema specifico (microfoni e relativi preamplificatori, amplificatori di potenza, regolatori di tono, altoparlanti, ecc.).

Si tenga presente, come norma generale, che gli amplificatori a transistor, contrariamente a quelli a valvole di un tempo, particolarmente quando sono

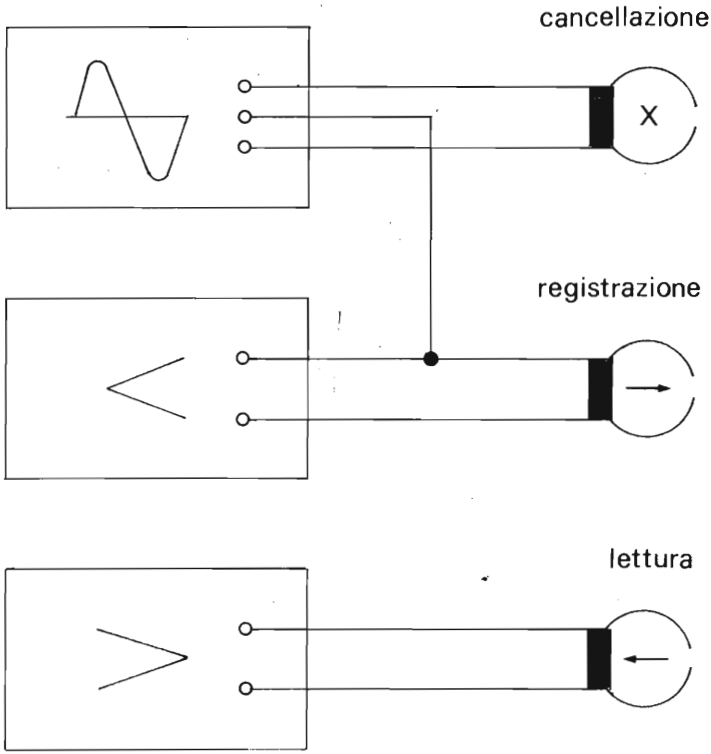


Figura 47

equipaggiati con semiconduttori per piccole potenze, dispongono di una larghezza di banda eccezionalmente estesa: non è raro il caso di preamplificatori la cui risposta rimane lineare, o quasi, fino a 100 KHz ed oltre. Questo è un inconvenienete, perchè aumenta la sensibilità ai disturbi di origine esterna e facilita la nascita di indesiderabili oscillazioni parassite a frequenza ultraudibile. È pertanto essenziale, in sede di progettazione, limitare drasticamente la risposta alle alte frequenze, in modo che al di sopra della massima frequenza di lavoro (praticamente 18 - 20 kHz), la caratteristica di risposta precipiti il più rapidamente possibile.

Un'altra considerazione di indole generale riguarda la dinamica: una dinamica molto elevata, accompagnata da un clipping simmetrico è la migliore difesa dai disturbi di origine esterna. Come regola, ogni stadio di amplificazione dovrebbe

avere una dinamica superiore a quella dello stadio che segue, in modo che l'ampiezza massima del segnale di uscita sia limitata solo dallo stadio finale e non dagli stadi precedenti. Il problema della simmetria del clipping è solamente legato alla scelta opportuna del punto di riposo sulla caratteristica $i_c = f(i_b)$ del transistor e non presenta problemi.

È chiaro che una dinamica elevata richiede, come logica conseguenza, una tensione fra collettore ed emittitore dei transistor, pure elevata. Per questo, nelle apparecchiature da studio è sempre consigliabile l'impiego di tensioni di alimentazione piuttosto alte (non inferiori, comunque, ad una trentina di volt). Questo può rappresentare un problema nei magnetofoni portatili di alto livello e rimane affidato al giudizio del progettista il compito di stabilire quanto valga la pena di sacrificare l'autonomia, l'ingombro ed il peso dell'apparecchio al suo livello qualitativo.

Chiaramente, la distorsione va tenuta sotto controllo, ma ciò non rappresenta un grosso problema perchè nei moderni amplificatori e transistor, facendo giudiziosamente uso di controreazione, un tasso di distorsione totale inferiore allo 0,3 - 0,4%, come si richiede agli apparecchi professionali, è cosa del tutto normale; occorre solo fare attenzione che la distorsione si mantenga nei limiti citati entro l'intera banda di frequenza trasmessa.

Vi è pure da ricordare che nei magnetofoni è sempre presente la corrente di cancellazione e polarizzazione che, conseguentemente all'elevata frequenza, tende a invadere il complesso, attraverso flussi dispersi e capacità parassite. Particolarmente nelle apparecchiature di basso prezzo, non è raro ritrovare della frequenza ultraudibile, che circola tranquillamente nei preamplificatori di lettura o nello stadio di ingresso dell'amplificatore di registrazione.

Questo segnale parassita deve essere evitato con cura, perchè può causare disturbi non indifferenti. La limitazione della banda passante negli amplificatori rappresenta, anche in questo senso, un provvedimento molto efficace, tuttavia è anche utile precludere ogni percorso attraverso al quale possa trasferirsi l'alta frequenza (collegamenti lunghi, circuiti stampati troppo ravvicinati, connettori inadatti, differenze di potenziale fra i diversi punti di massa, ecc.).

Gran parte di ciò che si è detto in questo paragrafo può sembrare pura pignoleria, ma non lo è. Molte carenze che possono verificarsi in un magnetofono sono proprio da attribuirsi all'inosservanza di precauzioni, apparentemente banali e di scarsa importanza, come quelle citate.

Particolarmente quando si tratta di apparecchi professionali, la scelta dei componenti assume notevole importanza. Il rapporto segnale/disturbo intrinseco dell'amplificatore e la stabilità, sia a breve che a lungo termine, delle caratteristiche, sono determinanti. L'impiego di transistor a basso rumore è la prima norma da osservare, come pure sono preferibili le resistenze a strato metallico a quelle a strato di grafite; assolutamente da escludersi quelle ad impasto. Anche i condensatori, particolarmente quelli interstadiali, debbono essere di buona qualità; se elettrolitici, meglio orientarsi su quelli al tantalio di tipo professionale.

5.2 - Le equalizzazioni

Dai paragrafi 2 e 4 del secondo capitolo si può desumere che la caratteristica di frequenza del flusso residuo sul nastro, in funzione della corrente che scorre nella testina di registrazione, è strettamente dipendente dalla velocità di scorrimento del nastro stesso; altrettanto avviene nel processo di lettura. Di conseguenza, è indispensabile che i segnali elettrici vengano registrati e riprodotti a velocità rigorosamente uguali. Onde rendere possibile lo scambio dei nastri sui diversi magnetofoni che si trovano in commercio, si sono normalizzate quattro differenti velocità, nonchè le relative curve di equalizzazione, riferite alle diverse categorie qualitative di apparecchi.

Le installazioni da studio usano le due velocità più alte, 38,1 e 19,05 cm/sec., con tolleranze rispettivamente del ± 0,1% e ± 0,15%, gli apparecchi HiFi 9,53 cm/sec. (eccezionalmente 19,05 cm/sec.), con tolleranza ± 0,2%, i magnetofoni cosiddetti domestici ed a cassetta, 4,78 cm/sec. con tolleranza 0,5%.

Sempre per la ragione citata, si sono assegnate delle equalizzazioni ben precise dei segnali, sia in registrazione che in lettura, in funzione delle differenti velocità.

Siccome le curve che esprimono la relazione livello/frequenza della registrazione sono uguali a quelle che esprimono l'andamento dell'impedenza nei circuiti R.C., si è stabilito, per comodità, di definire le curve di equalizzazione con le costanti di tempo dei circuiti R.C. equivalenti.

Per un livello costante della corrente nella testina di registrazione, la caratteristica nominale del flusso nel nastro, in funzione della frequenza è definita dalla combinazione di due curve: una che decresce con l'aumentare della frequenza, come decresce l'impedenza di un circuito R.C. in parallelo, con costante di tempo τ_1, l'altra che decresce con l'aumentare della frequenza, come l'impedenza di un circuito R.C. in serie, avente costante di tempo τ_2. La curva globale che ne risulta, espressa in decibel, è rappresentata dalla relazione:

$$B_r = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{4\pi^2 f^2 \tau^2_2} \right) - 10 \log_{10} (1 + 4\pi^2 f^2 \tau^2_1)$$

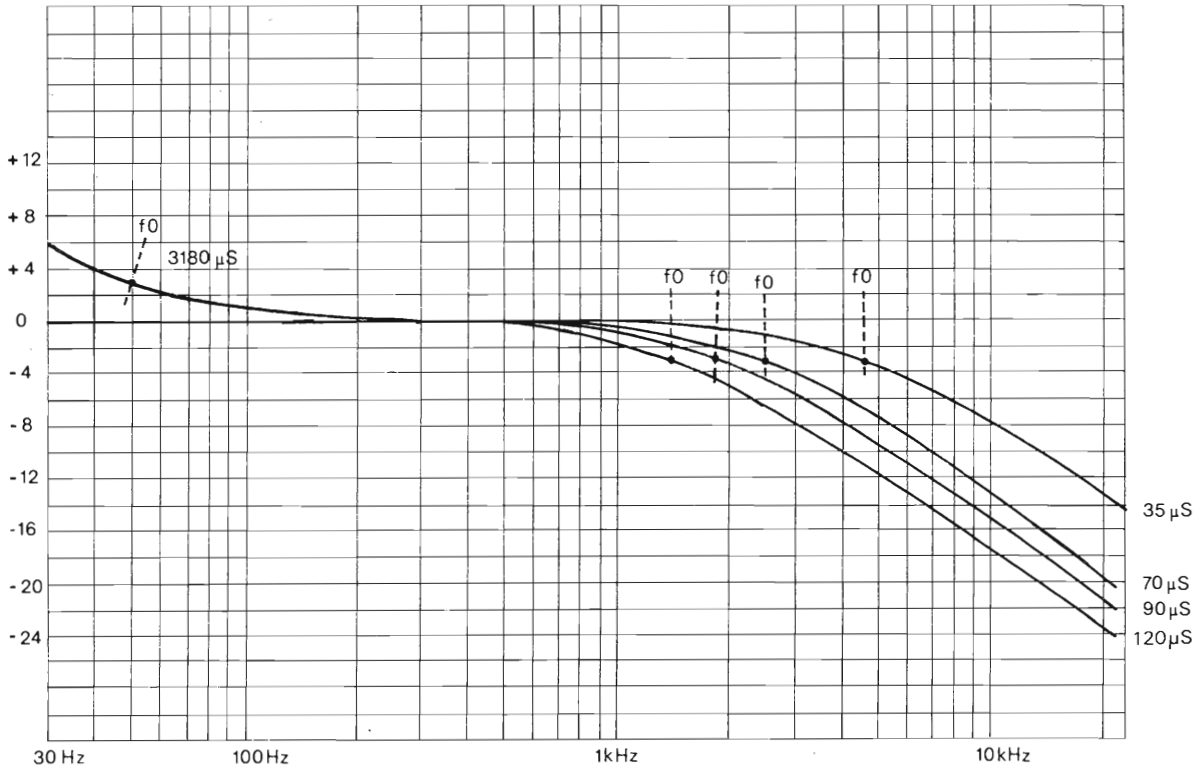
i cui valori sono riportati, in funzione della frequenza, nella figura 48 e nelle tabelle III e IV, che si riferiscono alle costanti di tempo prescritte dalla norma DIN 45513, per le caratteristiche di equalizzazione, da scegliersi secondo le differenti velocità del nastro. Nella figura sono indicate anche le frequenze di transizione (f_o) relative a ciascuna curva.

Tabella 3

velocità	4,76	9,53	19,05	38,1	cm/sec.
τ_1	120	90	70	35	μs
τ_2	3.180	3.180	∞	∞	μs

Tabella 4

Hz \ µs	f_1				f_2
	35	70	90	120	3 180
16	− 0,00	− 0,00	− 0,00	− 0,00	+ 10,33
20	− 0,00	− 0,00	− 0,00	− 0,00	+ 8,61
25	− 0,00	− 0,00	− 0,00	− 0,00	+ 7,00
31,5	− 0,00	− 0,00	− 0,00	− 0,00	+ 5,47
40	− 0,00	− 0,00	− 0,00	− 0,00	+ 4,09
50	− 0,00	− 0,00	− 0,00	− 0,01	+ 3,01
63	− 0,00	− 0,00	− 0,01	− 0,01	+ 2,12
80	− 0,00	− 0,01	− 0,01	− 0,02	+ 1,43
100	− 0,00	− 0,01	− 0,01	− 0,02	+ 0,97
125	− 0,00	− 0,01	− 0,02	− 0,04	+ 0,65
160	− 0,01	− 0,02	− 0,04	− 0,06	+ 0,41
200	− 0,01	− 0,03	− 0,06	− 0,10	+ 0,26
250	− 0,01	− 0,05	− 0,09	− 0,15	+ 0,17
315	− 0,02	− 0,08	− 0,14	− 0,24	+ 0,11
400	− 0,03	− 0,13	− 0,22	− 0,38	+ 0,07
500	− 0,05	− 0,21	− 0,33	− 0,58	+ 0,04
630	− 0,08	− 0,32	− 0,52	− 0,88	+ 0,03
800	− 0,13	− 0,51	− 0,81	− 1,35	+ 0,02
1.000	− 0,21	− 0,77	− 1,20	− 1,95	+ 0,01
1.250	− 0,32	− 1,15	− 1,76	− 2,76	+ 0,01
1.600	− 0,51	− 1,75	− 2,60	− 3,90	+ 0,00
2.000	− 0,77	− 2,49	− 3,58	− 5,15	+ 0,00
2.500	− 1,15	− 3,44	− 4,77	− 6,58	+ 0,00
3.150	− 1,70	− 4,65	− 6,20	− 8,22	+ 0,00
4.000	− 2,49	− 6,12	− 7,86	− 10,04	+ 0,00
5.000	− 3,44	− 7,66	− 9,54	− 11,82	+ 0,00
6.300	− 4,65	− 9,38	− 11,36	− 13,72	+ 0,00
8.000	− 6,12	− 11,26	− 13,32	− 15,73	+ 0,00
10.000	− 7,66	− 13,08	− 15,18	− 17,62	+ 0,00
12.500	− 9,32	− 14,95	− 17,07	− 19,53	+ 0,00
16.000	− 11,26	− 17,03	− 19,18	− 21,66	+ 0,00
20 000	− 13,08	− 18,94	− 21,10	− 23,59	+ 0,00



Legenda: 35 µS 10 = 4450 Hz
70 µS 10 = 2270 Hz
90 µS 10 = 1770 Hz
120 µS f0 = 1330 Hz
3180 µS f0 = 50 Hz

Figura 48

la frequenza di riferimento è di 333 Hz per le velocità di 4,76 e 9,53 cmsec. e di 1 KHz per 19,05 e 38,1 cm/sec.

Come si può constatare, alle velocità più elavate si rende necessario solo la costante di tempo τ_1 ($\tau_2 = \infty$).

Sia ben chiaro che l'indicazione della costante di tempo è solamente un sistema comodo per definire una determinata curva di equalizzazione, indipendentemente dagli artifici con i quali la curva in questione può venire attenuata: ad esempio, con uno o più gruppi RC, variamente disposti, oppure con filtri LC passa basso o passa alto o, addirittura, con circuiti risonanti: l'importante è che la curva di risposta dell'amplificatore di registrazione sia esattamente la completementare di quella prescelta sul diagramma di figura 48, onde ottenere che l'ampiezza del segnale riprodotto sia indipendente della frequenza. Durante la lettura, il segnale elettrico che appare ai capi della testina, per segnali registrati aventi flusso di corto circuito costante, aumenta con la frequenza di 6 dB per ottava: questo però avviene fin quando non intervengono le limitazioni causate dalle dimensioni fisiche del traferro, dalle superfici delle espansioni polari, dalla presenza o meno di un trasformatore di accoppiamento testina/amplificatore e dal rapporto dell'impedenza testina/ingresso amplificatore.

Teoricamente la curva di risposta del preamplificatore dovrebbe essere la complementare della curva della testa di lettura, ma un'esatta determinazione non può essere ottenuta che sperimentalmente.

5.3 - L'amplificatore di registrazione

Poichè l'amplificatore di registrazione eroga potenza su un carico induttivo, rappresentato dalla testina magnetica, ed il campo magnetizzante nel traferro è funzione della corrente, è evidente che lo stadio finale deve essere, essenzialmente, un generatore di corrente, vale a dire un generatore avente resistenza interna teoricamente infinita.

Riferendosi alle condizioni reali, si potrà dire che la resistenza di uscita dello stadio finale deve essere molto più elevata dell'impedenza presentata dalla testina alla più alta frequenza da registrare. La potenza massima richiesta per alimentare la testina di registrazione, tenendo anche conto di un margine di corrente di 20 dB, per assicurare un'abbondante dinamica, è dell'ordine di grandezza di una cinquantina di milliwatt nel peggiore dei casi, quindi un piccolo transistor, previsto per una dissipazione massima di 400/500 milliwatt, è più che sufficiente, senza richiedere l'impiego di alcun dissipatore.

Un trasistor di questo tipo, sufficientemente controreazionato da una resistenza R_e di valore apportuno sull'emittittore (figura 49), assume una resistenza di uscita che può bastare a realizzare la condizione richiesta, purchè la testina abbia in serie

una resistenza che impedisca la condizione di quasi corto circuito alle basse frequenze.

Poichè nella testina non deve circolare la benchè minima corrente continua, che provocherebbe una magnetizzazione permanente del supporto magnetico, la capacità **C** di accoppiamento non deve assolutamente essere un condensatore elettrolitico. La resistenza $\mathbf{R}_c$ di collettore deve essere molto alta, perché, dal punto di vista del segnale a frequenza acustica, viene a trovarsi in parallelo con la testina. Questo, però, riduce notevolmente la tensione $\mathbf{V}_{CE}$ del transistor, a detrimento della dinamica. Una soluzione di questo genere, quindi, può essere accettabile solo in magnetofoni di prestazioni molto limitate, a bassa velocità del nastro, la cui risposta in frequenza arriva, a malapena, a 7-8 kHz. Negli apparecchi di maggior pregio viene molto sovente usata la disposizione di figura 50, in cui la resistenza di collettore viene sotituita da un transistor, in funzione di stabilizzatore di corrente. Con questa disposizione circuitale il transistor τ_2 si comporta come una resistenza teoricamente infinita, per la componente alternata dalla corrente, mentre alla componente continua presenta una resistenza molto bassa, che può, inoltre, essere scelta a volontà, variando i valori delle resistenze $\mathbf{R}_1$ ed $\mathbf{R}_2$. Il funzionamento del circuito è intuitivo se si considera che i punti **A** e **C** sono entrambi a potenziale

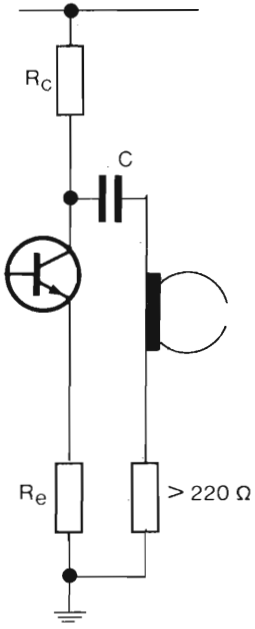


Figura 49

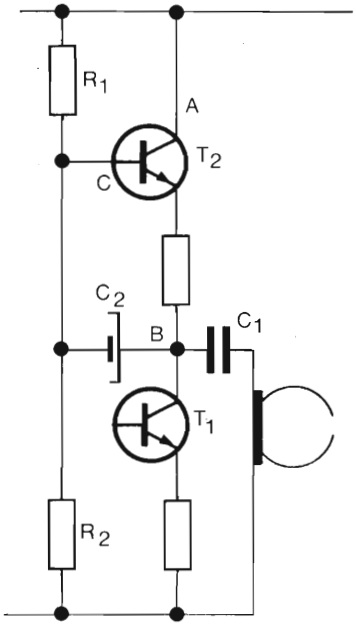


Figura 50

costante, poichè sono connessi il primo all'alimentazione ed il secondo alla presa del partitore $R_1 + R_2$, nel quale scorre una corrente elevata rispetto a quella richiesta dalla base del transistor. La componente alternata della tensione che appare sul colettore di T_1 (punto **B**), conseguente al segnale applicato alla sua base, per mezzo del condensatore C_2 viene riportata anche sulla base del transistor a collettore comune T_2. Siccome fra base ed emettitore non vi è inversione di fase, ovviamente la corrente che scorre in T_2 non può subire alcuna variazione, e la componente c.a. deve, per forza, scorrere solo nella testina. La figura 51 si riferisce allo stadio finale di un amplificatore per registrazione magnetica Ampex, funzionante secondo questo principio. Chiaramente, in questo caso, la resistenza in serie all'emittitore del transistor T_1 ha unicamente il compito di provvedere alla stabilizzazione termica.

Stadi finali in controfase sono rari negli amplificatori per registrazione magnetica a transistor, perchè non offrono benefici apprezzabili e viceversa risultano

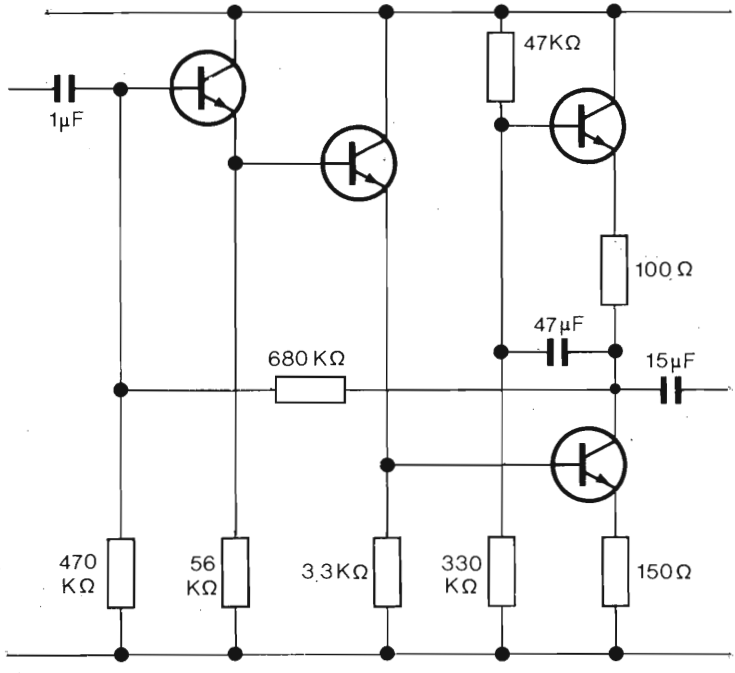


Figura 51

eccessivamente complicati, appunto in vista dell'esigenza di erogare una corrente costante, al variare dell'impedenza di carico.

La necessaria equalizzazione della caratteristica di frequenza dell'amplificatore di registrazione impone un sostanziale incremento delle frequenze alte; se si vuole che la dinamica non sia in nessun caso inferiore al livello prestabilito, occorre calcolarla prendendo come base il livello di tensione più alto che può assumere il segnale (questa affermazione non è del tutto esatta, ma può servire a scopo esplicativo). Si ha, perciò, tutto l'interesse ad equalizzare il segnale nello stadio di uscita, per non imporre una dinamica eccessiva a tutta la catena di amplificazione. Diversi sono i circuiti di equalizzazione impiegati, per lo più costituiti da gruppi RC, facenti parte di reti di controreazione o di reti di accoppiamento, inserite immediatamente a monte dello stadio finale, ma uno dei sistemi più diffusi, per gli innegabili vantaggi che presenta, consiste (figura 52) nell'assegnare un valore relativamente alto alla resistenza in serie all'emettitore del transistor finale T_1, shuntandola, quindi con un circuito a risonanza di corrente, avente la risonanza di poco superiore alla più alta frequenza da registrare. Variando il rapporto **L/C** ed il valore della resistenza **R** (che deve essere dell'ordine di grandezza di alcune decine di ohm), si ottiene con facilità una curva esattamente corrispondente alla curva teorica richiesta.

Un vantaggio di questo sistema di equalizzazione, oltre alla sua estrema semplicità, è che, al di sopra della frequenza di risonanza, la caratteristica di risposta precipita molto rapidamente, cosa non facile ad ottenersi con i sistemi R.C.

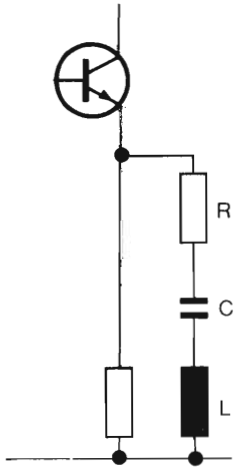


Figura 52

Un secondo importante vantaggio va ricercato nel fatto che, con l'approssimarsi della risonanza, l'impedenza del gruppo RCL, che si trova in serie con l'emettitore del transistor T_1, diminuisce, il che provoca un aumento del campo di escursione della componente c.a. della corrente nel transistor e migliora, di conseguenza, la dinamica dello stadio alle frequenze più elevate.

Nella maggior parte degli amplificatori esiste la possibilità di inserire dei gruppi RC a monte dello stadio finale, che consentono di realizzare l'equalizzazione τ_2 (3180 μs), necessaria per registrazioni con velocità del nastro di 4,76 e 9,53 cm/sec., ed, eventualmente, di correggere irregolarità nella risposta alle bassissime frequenze, tipiche di alcune testine. Il guadagno richiesto agli amplificatori di registrazione delle apparecchiature professionali da studio è, di regola, molto modesto. Pur non essendovi norme precise in proposito, il segnale da registrare che esce dalla consolle di regia, si aggira attorno al valore di 1 volt (mediamente da 0 a +4 dB m), per la massima ampiezza di registrazione consentita dal supporto magnetico.

Quasi tutti gli amplificatori dispongono di una sensibilità di 300-400 mV. e sono preceduti da un attenuatore di ingresso, che consente, in ogni caso, il miglior adattamento.

Poichè l'uscita dalla regia è sempre a bassa impedenza (600 oppure 250 ohm), non vi sono problemi relativi all'impedenza di ingresso dell'amplificatore di registrazione ed il segnale può entrare in base del primo transistor, sia direttamente, sia attraverso un trasformatore di entrata di rapporto opportuno. Entrambe le soluzioni presentano dei vantaggi e degli inconvenienti e non è facile valutare quale sia la migliore.

Abitualmente l'amplificatore dispone anche di una uscita a bassa impedenza, ricavata a monte delle equalizzazioni, che può essere utilizzata per inviare il segnale all'amplificatore di controllo (monitor), per l'ascolto diretto; taluni prevedono anche una seconda uscita, destinata al V.U. meter.

La figura 53 si riferisce allo schema di un moderno amplificatore di registrazione magnetica, progettato secondo i criteri precedentemente esposti e previsto per testine professionali da 7 mH. Lo stadio amplificatore di tensione, equipaggiato con trasinstor a basso rumore, ha un guadagno piuttosto limitato (15 dB) ed una impedenza di ingresso di circa 100 KΩ. I punti A, B e C sono previsti per l'inserzione dell'eventuale equalizzatore da 3.180 μs, o di altri correttori delle basse frequenze. La limitazione della banda passante viene operata, in modo drastico, dal filtro L_1C_3 e dai condensatori C_1, fra collettore e base del secondo transistor, e C_2 all'uscita dell'amplificatore di tensione. All'equalizzazione delle alte frequenze provvede il circuito a risonanza di corrente $R_1L_2C_4$, che si trova in parallelo con la resistenza di emettitore del transistor di uscita. Non è difficile, con un opportuno gioco di commutazioni, predisporre l'amplificatore per differenti equalizzazioni, corrispondenti a diverse velocità del nastro.

La resistenza R_2, che viene a trovarsi in serie alla testina, non è indispensabile, data la presenza del transistor in funzione di stabilizzatore di corrente, ma è molto utile perchè, misurando la tensione c.a. ai suoi capi, con un adatto voltmetro

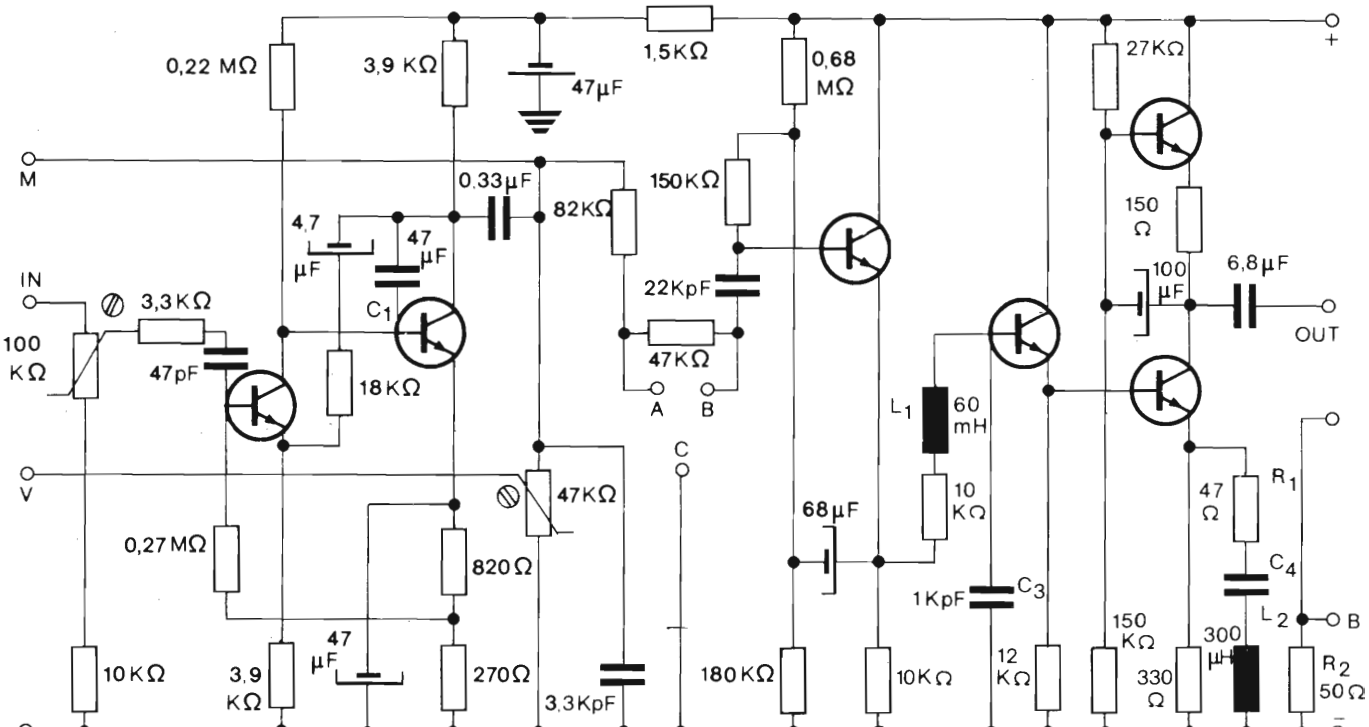

0,22 MΩ
3,9 KΩ
47µF
1,5KΩ
0,68 MΩ
27KΩ
+
M
0.33µF
82KΩ
150KΩ
150 Ω
4,7 µF
47 µF
IN
3,3KΩ
C1
22KpF
100 µF
6,8µF
OUT
100 KΩ
47pF
18KΩ
47KΩ
A
B
L1
60 mH
C
V
47KΩ
10 KΩ
R1
47 Ω
68µF
0,27MΩ
820Ω
C4
1KpF
C3
L2
B
150 KΩ
300 µH
47 µF
10KΩ
3,9 KΩ
270Ω
3,3KpF
180KΩ
10KΩ
12 KΩ
330 Ω
R2 50Ω
−

Figura 53

elettronico, consente di conoscere la corrente che scorre nella testina. L'amplificatore dispone di un terminale **B** previsto allo scopo. Le due uscite, contrassegnate **M** e **V** servono, rispettivamente per il collegamento all'ingresso del minitor ed al V.U. meter. Il trimmer, che permette di regolare il segnale sull'uscita **V** serve per la taratura dello stumento.

Un'esigenza che si presenta sovente negli studi di registrazione è quella di sostituire, in un nastro già registrato, delle battute di dialogo o dei brani musicali. L'operazione, pur richiedendo notevole perizia, è possibile, purchè gli impianti siano predisposti in modo tale che, mentre il nastro scorre per consentirne l'ascolto, sia possibile inserire, nell'attimo giusto, la cancellazione ed il segnale da registrare. L'operazione deve essere istantanea e soprattutto non deve creare transitori, che verrebbero inevitabilmente registrati. Per quanto riguarda la cancellazione e la polarizzazione non vi sono problemi (V. §§ 3 e 7), mentre il segnale a frequenza acustica deve essere applicato o interrotto senza che venga a spostarsi il punto di lavoro dei transistor; in caso contrario si manifesterebbe un transitorio. La figura 54 riproduce il circuito precedente modificato in questo senso, mediante l'aggiunta dei due transistor T_7 e T_8. Quando il transistor T_7 è in conduzione, T_8 è interdetto ed il segnale passa liberamente; togliendo tensione alla base di T_7 il transistor si interdisce e manda in conduzione T_8, che cortocircuita il segnale. Poichè la tensione di base di T_7, necessaria per mantenere il transistor in conduzione, è ricavata dalla tensione di alimentazione dell'amplificatore, le resistenze R_3 e R_4 vengono dimensionate in modo da ridurre le correnti a valori ragionevoli.

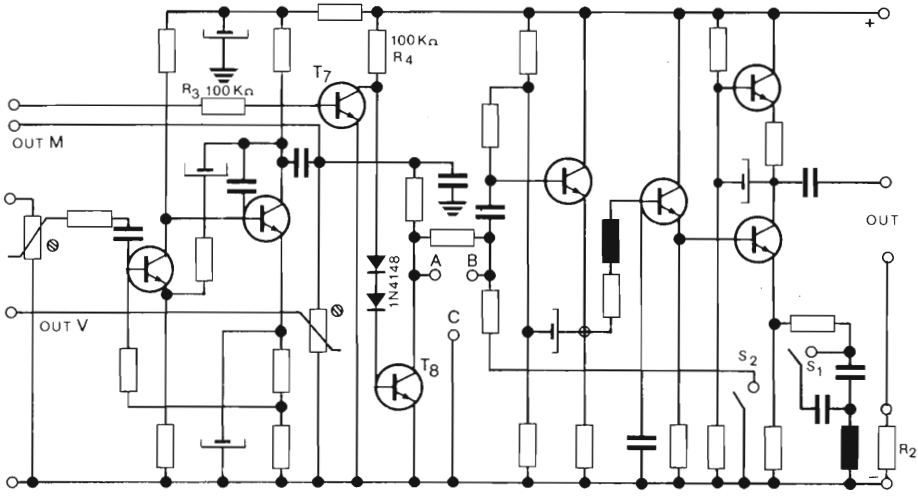


Figura 54

L'amplificatore descritto ed altri consimili vengono, di norma, utilizzati negli apparecchi da studio, che richiedono prestazioni eccezionali. Nei magnetofoni domestici si usano amplificatori assai meno sofisticati: senza troppe preoccupazioni per la dinamica, il transistor finale dispone, semplicemente, di una resistenza di collettore, e la corrente nella testina viene mantenuta abbastanza costante con una resistenza, relativamente elevata, in serie alla testina stessa e con un po' di controreazione di corrente, dovuta alla presenza della resistenza in serie all'emettitore. L'equalizzazione viene, di regola, ottenuta con uno o due gruppi RC, disposti nei punti più opportuni.

5.4 - L'oscillatore a frequenza ultraudibile

Non esistono precise norme riguardanti la frequenza della corrente di cancellazione e polarizzazione, ma viene, di regola, raccomandato che sia almeno cinque volte maggiore della più alta frequenza che si vuole registrare.

In pratica, negli apparecchi professionali ad alta velocità del supporto magnetico (19,05 e 38,1 cm/sec), non è mai inferiore ad 80 kHz. Nei registratori domestici, equipaggiati in genere con testine ad impedenza piuttosto alta, è di solito inferiore (50-60 kHz); ancora più bassa è in molti magnetofoni a cassetta.

Come si è accennato nel secondo capitolo (§ 2), è molto importante che la corrente ultrasonica sia priva di armoniche, in modo particolare di armoniche di ordine pari; di conseguenza, negli apparecchi di classe l'oscillatore è sempre in controfase ed il punto di lavoro dei due transistor viene scelto per un angolo di circolazione della corrente di collettore abbastanza prossimo a 180°. Sempre allo scopo di mantenere bassa la distorsione, il rapporto **L/C** del circuito volano viene mantenuto molto inferiore al valore ottimo, consigliato per raggiungere il massimo rendimento possibile dell'oscillatore. Seguendo questi criteri di progettazione, non è difficile ottenere un segnale avente un contenuto armonico totale non superiore allo 0,2 - 0,3%, il che è sufficiente anche per apparecchi di alto livello professionale.

Riguardo ai componenti, è della massima importanza che la bobina oscillatrice (che è sempre con nucleo e in ferrite) abbia sezione e traferro sufficienti a non avvicinarsi alla saturazione,del nucleo che il condensatore del circuito volano disponga di un carico di impulso **dV/dt** molto alto (non inferiore a 200 circa). Sono pertanto rigorosamente da escludersi i condensatori a dielettrico metalizzato ed anche, fra i cosiddetti «foil» aventi le armature costituite da fogli di alluminio, sono sempre preferibili quelli con dielettrico in polipropilene, previsti per tensioni di lavoro non inferiori a 400 volt; un ulteriore vantaggio di questi condensatori, oltre alla indistruttibilità, sta nel coefficiente di temperatura negativo, che compensa egregiamente il coefficiente positivo della bobina, rendendo trascurabile la deriva termica.

Va ricordato che, pur essendo relativamente basso il fattore di merito del circuito volano, sia la tensione che la corrente vi assumono valori molto elevati, che richiedono sufficienti margini di sicurezza.

Normalmente, la testina viene accoppiata all'oscillatore per mezzo di un secondo avvolgimento. Il rapporto di trasformazione è critico, e molte bobine oscillatrici dispongono di alcune prese sul secondario, per consentire l'adattamento delle impedenze.

La figura 55 si riferisce ad uno schema di oscillatore che si potrebbe definire classico. Con poche ed insignificanti varianti, lo si ritrova in quasi tutti gli apparecchi di livello professionale, la figura 56 rappresenta una versione molto simile alla precedente. La progettazione non presenta particolari difficoltà, ma richiede un lungo lavoro di sperimentazione.

Poichè la testina di cancellazione costituisce un carico induttivo, il suo fattore di potenza è estremamente basso e ciò imporrebbe tensioni altissime, per farvi circolare una corrente sufficiente. Si consideri che una testina avente l'induttanza normalizzata di 1,3 mH, alla frequenza di 100 kHz presenta una impedenza di circa 815 Ω; per farvi scorrere gli 80 mA circa, che sono necessari per ottenere la totale cancellazione del supporto magnetico, ocorrerebbe una tensione di 65 V efficaci, vale a dire una potenza apparente di 5,2 VA.

Per questo motivo si ricorre generalmente all'artificio di portare in risonanza la testina, mediante un condensatore in serie: in condizione di risonanza le componenti reattive si eludono, l'impedenza della testina si riduce alle sole componenti

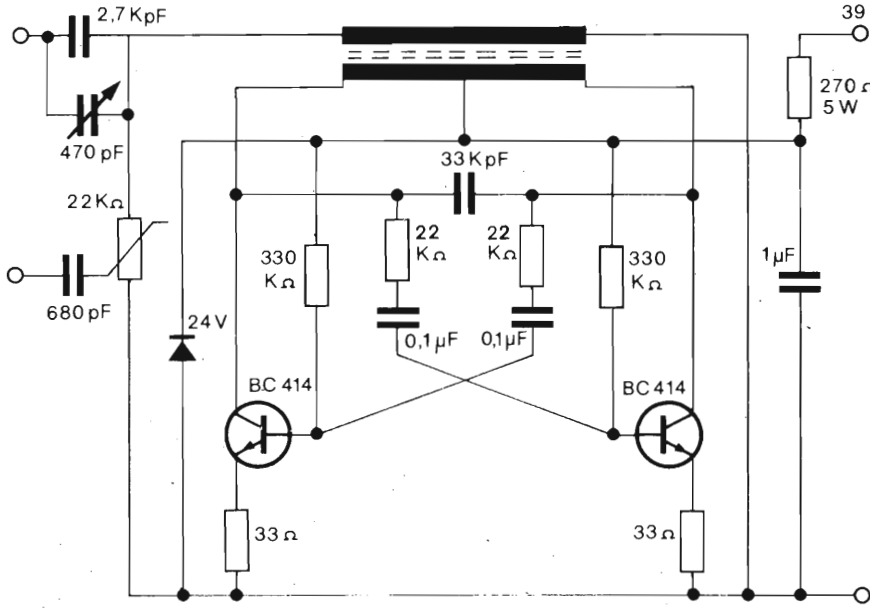


Figura 55

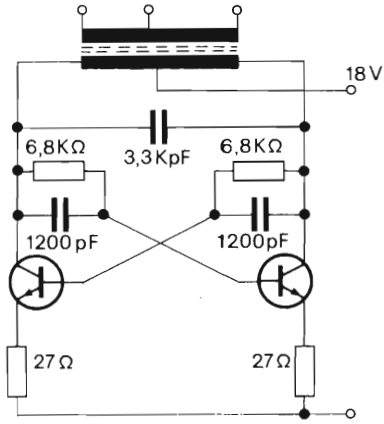


Figura 56

chimiche (resistenza dell'avvolgimento, perdite per isteresi e per correnti di Foucault) e la potenza effettiva richiesta si riduce a poco più della decima parte del valore citato. Inoltre, accordando la testina viene ulteriormente ridotta la distorsione. L'accordo esatto viene ottenuto con un condensatore fisso, di capacità leggermente inferiore al valore ottimo richiesto, con un trimmer capacitivo in parallelo. Sia al condensatore fisso che al trimmer si richiede un carico di impulso piuttosto elevato.

Anche la corrente di polarizzazione viene ricavata dal secondario della bobina, tramite un condensatore; poichè la corrente richiesta è molto piccola, rispetto a quella di cancellazione, non si presentano particolari problemi. La testina professionale di registrazione ha un'induttanza normalizzata di 7 mH e richiede una corrente di polarizzazione che raramente supera i 5-6 milliampère; la regolazione del bias viene ottenuta mediante un trimmer e la capacità del condensatore deve essere la più bassa possibile per ottenere la sufficiente corrente, quando il trimmer è a metà della sua corsa. Gli apparecchi di uso domestico, e segnatamente, quelli a cassetta, non sempre dispongono dell'oscillatore in controfase e ancora più raramente della possibilità di regolazione della corrente di polarizzazione, che viene predisposta, in fabbrica, una volta per tutte.

Questi magnetofoni si valgono quasi sempre di testine aventi una induttanza relativamente alta e una frequenza di cancellazione bassa, conseguente alla banda di frequenze registrata decisamente più limitata; la corrente sia di cancellazione che di polarizzazione sono, di conseguenza, notevolmente minori.

5.5 - Il V.U. meter

La misura del livello di registrazione è sempre stata fonte di discussioni e di controversie, ancor oggi aperte. In effetti il problema, apparentemente banale, non è affatto semplice. Il segnale da misurare ha quasi sempre un livello variabile entro larghi limiti e, molto sovente, con estrema rapidità. In molti passaggi musicali, si incontrano dei picchi improvvisi dopo un «pianissimo» e degli arresti altrettanto improvvisi; anche il dialogo può presentare sbalzi di livello di notevole intensità.

L'occhio riesce a percepire senza difficoltà lo spostamento di un indice o di una traccia luminosa, purchè la sua velocità non superi quella dei normali riflessi fisiologici. Di conseguenza, uno strumento che avesse un'altissima velocità di risposta non sarebbe in grado di fornire un'utile indicazione. Riducendo la velocità di risposta dello strumento indicatore verrebbero inevitabilmente, mutilati i picchi improvvisi e si otterrebbe una indicazione ritardata degli eventi sonori.

Il V.U. meter «classico» consigliato dall'A.S.A. e normalmente usato negli studi radio-televisivi (figura 57) è un soddisfacente compromesso fra le varie esigenze e, connesso all'uscita del mixer, risolve il problema, tuttavia, mediante uno strumento elettronico, avente caratetristiche appropriate, è oggi possibile ottenere una precisione più elevata, una lettura più agevole ed una maggiore flessibilità d'impiego.

Lo strumento consiste, in sostanza, in un voltmetro integratore a costanti di tempo differenziate, di cui è visibile in figura 58 lo schema di principio. IL segnale **V**, raddrizzato dai due diodi, carica il condensatore, che ha in parallelo un micro-

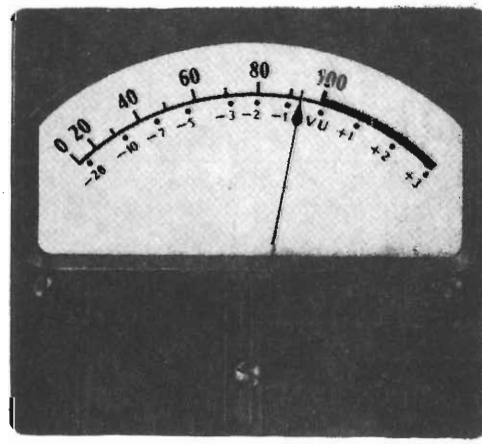


Figura 57

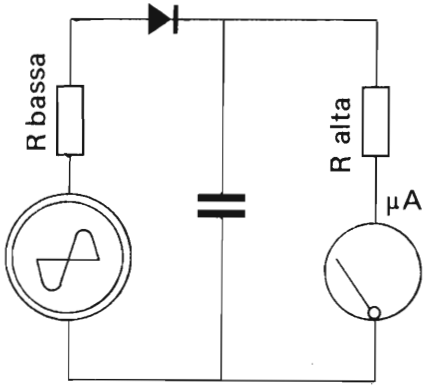


Figura 58

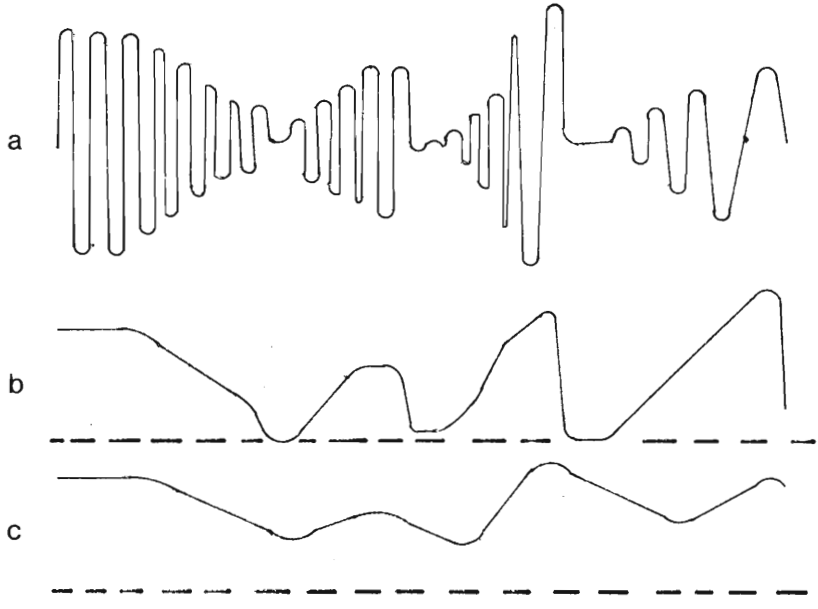


Figura 59

amperometro con relativa resistenza. Se l'impedenza di uscita del generatore è molto bassa e quella in serie al microamperometro è alta, la costante di tempo di carica del condensatore risulterà bassa e quella di scarica alta.

Supposto un segnale avente l'andamento di figura 59, la sua curva inviluppo è quella rappresentata in **b**, mentre la curva **c** esprime l'andamento dell'indicazione dello strumento. Si vede immediatamente che la curva **c** è molto più piatta della curva inviluppo ed ha variazioni meno rapide; tuttavia, ciò non ha alcun riflesso nocivo sulla precisione, che ne risulta anzi avvantaggiata, perché i picchi vengono interamente rispettati e, nel contempo, si ha una indicazione media del livello di registrazione. Si potrebbe dire che lo strumento funge, nel medesimo tempo da V.U. meter e da peak-meter.

La figura 60 rappresenta la realizzazione pratica di un V.U. meter di questo tipo. L'amplificatore di tensione, che dispone di un tasso di controreazione notevole, ha un guadagno di 15 dB, un'impedenza di ingresso di 200 KΩ circa, un'impedenza di uscita di qualche centinaio di ohm ed una caratteristica di frequenza lineare da 30 Hz ad oltre 100 KHz. Trattandosi di un amplificatore a basso guadagno, una simile larghezza di banda non nuoce, viceversa, come si vedrà nel § 8, può tornare molto utile. I due diodi sono al germanio, allo scopo di ridurre l'errore di inizio scala, causato dalla soglia.

Al milliamperometro si richiedono caratteristiche un po' particolari. Deve avere una sensibilità di 100 μA fondo scala, una velocità non inferiore a 0,15 secondi ed

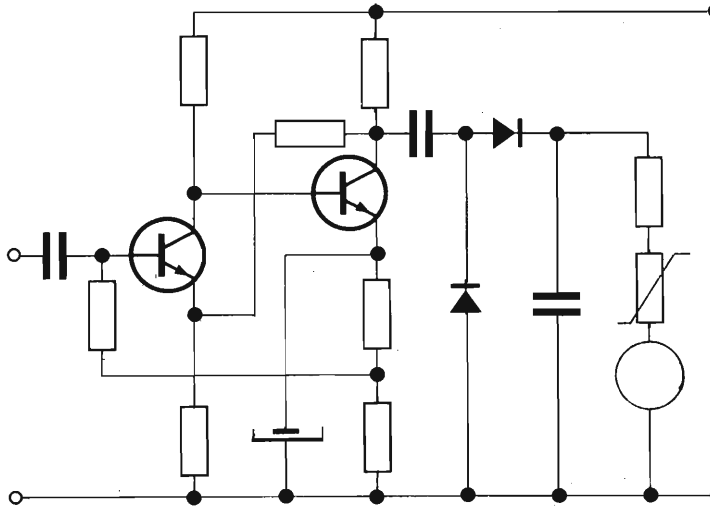


Figura 60

un overshot massimo di 0,3 dB; la scala è identica a quella del V.U. meter classico, illustrato nella figura 57.

In figura 61 si rappresenta una versione un po' più sofisticata, nella quale il milliamperometro è inserito in un ponte, costituito dalle resistenze **R_1, R_2 R_3**, dal FET e dal trimer **P_1**, che serve per equilibrare il ponte; il trimmer **P_2** regola la sensibilità dello strumento.

L'alta impedenza di ingresso del FET permette di ridurre la capacità del condensatore **C**, a tutto vantaggio del tempo di salita del microamperometro, che può avere una sensibilità di 100 μA. Questa disposizione circuitale è esente dal piccolo errore di inizio scala, dovuto alla soglia dei diodi.

Affinché il V.U. meter fornisca un'indicazione corretta del segnale registrato, deve essere inserito a monte dell'equalizzazione. Sovente la misura viene effettuata all'ingresso dell'amplificatore di registrazione, ma quando è possibile, è vantaggioso collegarlo all'uscita del prestadio, dove è presente un segnale più elevato.

Gli strumenti descritti hanno un'impedenza d'ingresso molto alta e si prestano, perciò, a realizzare questa disposizione circuitale (V. § 2).

I magnetofoni di prestazioni più limitate, usano, in genere, come V.U. meter un voltmetro a raddrizzatore qualsiasi, all'ingresso dell'amplificatore e quelli a cassette sono quasi sempre privi di qualsiasi strumento e dispongono semplicemente di un LED, che si accende quando il livello di registrazione supera i limiti consentiti della distorsione.

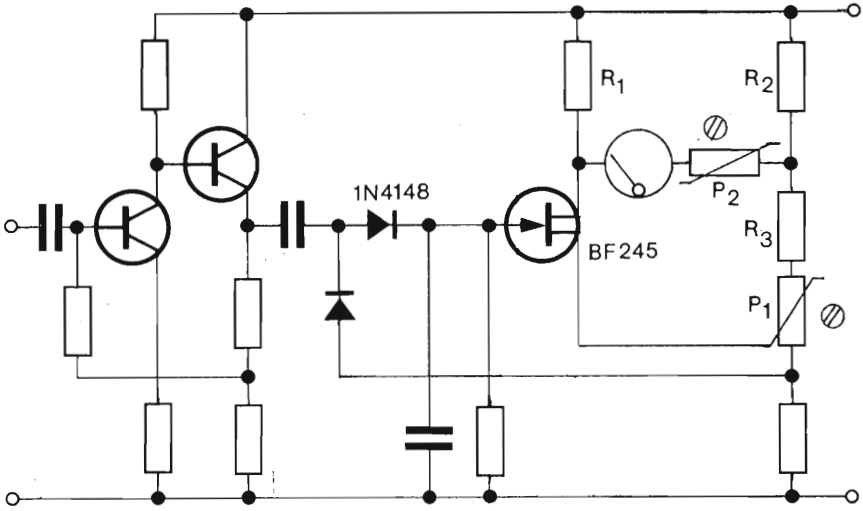


Figura 61

5.6 - Il preamplificatore di lettura

La funzione affidata alla testina di lettura è quella di tradurre in un segnale elettrico il flusso, rimasta sul supporto magnetico all'atto della registrazione. Siccome la forza elettromotrice fornita dalla testina di lettura ha il particolare andamento esaminato nel secondo capitolo (§ 4), è compito del preamplificatore di equalizzare il segnale di uscita, affinché risulti indipendente dalla frequenza.

A ciò viene provveduto con circuiti RC, facenti parte, nella maggioranza dei casi, di reti di controreazione o, più raramente, di reti di accoppiamento interstadiale. Nella figura 62 sono rappresentate le principali disposizioni circuitali adottate, con le relative curve di risposta e le formule che consentono la determinazione **teorica** delle frequenze di taglio e delle costanti di tempo; la costante di attenuazione è, per ogni cellula, di 6 dB per ottava. Nella pratica, le formule possono essere utilizzate solo come indicazioni di massima, perché una parte delle grandezze indicate è vincolata alle costanti dei transistor tra cui la rete è inserita, a loro volta dipendenti dalle loro condizioni di impiego; pertanto, l'esatta determinazione della rete di equalizzazione richiede sempre una ricerca sperimentale.

Poichè alle basse frequenze il segnale fornito dalla testina magnetica è molto piccolo (ordine di grandezza massimo di qualche centinaio di microvolt), è opportuno predisporre l'equalizzazione in un punto della catena in cui il segnale è ancora a livello piuttosto basso, allo scopo di mantenere il più alto possibile il rapporto segnale/disturbo; per ridurre la sensibilità dell'amplificatore ai disturbi di origine esterna, la dinamica dello stadio di ingresso deve essere almeno di una ventina di dB, misurata con un segnale avente frequenza uguale a quella di massima uscita della testina; questo è molto facile, data l'ampiezza sempre piccola del segnale.

Nei preamplificatori professionali è sempre indispensabile la presenza di un trimmer, che permetta di regolare il livello del segnale di uscita. La regolalzione, ovviamente, non deve essere fatta all'ingresso, dove il segnale è molto basso; il punto più conveniente è a valle dello stadio equalizzato o all'ingresso del finale.

La figura 63 si riferisce ad uno stadio di ingresso equalizzato, di impiego molto diffuso per la sua semplicità unita a prestazioni ottime. La rete di equalizzazione, che costituisce il circuito di controreazione, è rappresentata dalla resistenza $\mathbf{R_1}$ e dal condensatore $\mathbf{C_1}$; una seconda resistenza $\mathbf{R_2}$ di valore altissimo (ordine di grandezza dei megaohm) viene talvolta utilizzata per meglio controllare l'estremità bassa della caratteristica di frequenza, mentre un eventuale gruppo $\mathbf{R_3 C_2}$, disposto in parallelo alla resistenza di emettitore del primo transistor, può essere utile per correggere la risposta alle frequenze più elevate, qualora l'equalizzazione operata da $\mathbf{R_1 C_1}$ richiedesse qualche correzione. Usando quest'ultimo accorgimento, occorre agire con molta cautela per evitare che abbiano origine oscillazioni a frequenza altissima. Una buona precauzione è quella di assegnare ad $\mathbf{R_3}$ un valore che non sia mai inferiore a quello della resistenza di emittore del transistor. In questo stadio di ingresso è molto importante che vengano impiegati transistor, oltre che a basso rumore, ad altissimo guadagno, onde avere una sufficiente riserva di controreazione anche alle più basse frequenze.

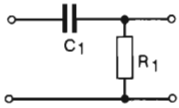
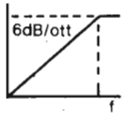
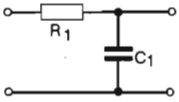
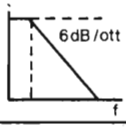
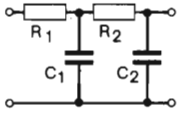
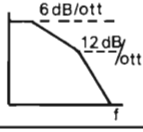
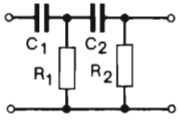
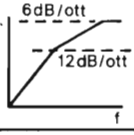
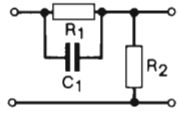
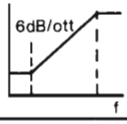
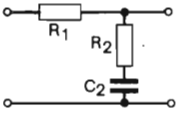
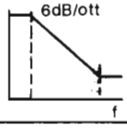
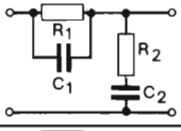
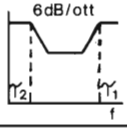
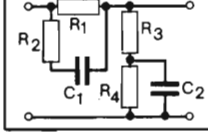
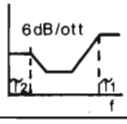
		RISPOSTA		τ_1	τ_2
		fo	f∞		
		0	1	$C_1 \cdot R_1$	
		1	0	$C_1 \cdot R_1$	
		1	0		
		0	1		
		$\frac{1}{1+\frac{R_1}{R_2}}$	1	$C_1 \cdot R_2$	$\frac{R_2}{R_1+R_2} \cdot \tau_1$
		1	$\frac{1}{1+\frac{R_1}{R_2}}$	$\frac{R_1+R_2}{R_2} \cdot \tau_2$	$C_1 \cdot R_2$
		1	1	$C_2 \cdot R_2$	$C_2 \cdot R_2$
		$\frac{1}{1+\frac{R_1}{R_2+R_4}}$	$\frac{1}{1+\frac{R_1 \cdot R_2}{R_3(R_1+R_2)}}$	$\frac{R_3 \cdot R_4}{R_3+R_4} \cdot C_2$	$C_1(R_1+R_2)$

Figura 62

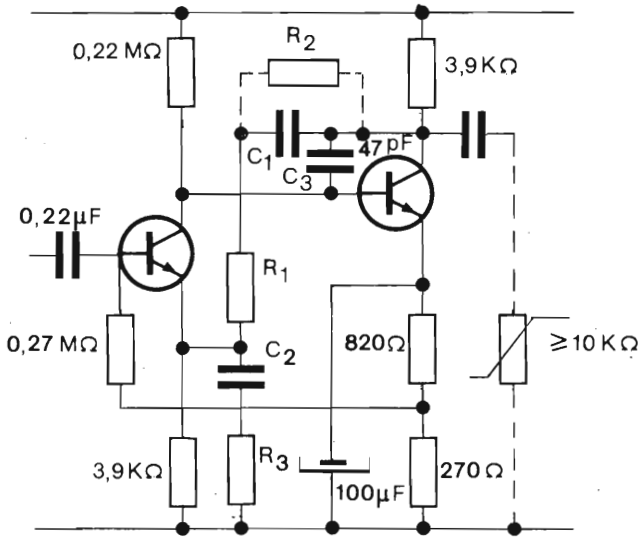


Figura 63

Poichè l'impedenza di ingresso è di circa 200 KΩ è possibile fare il collegamento con la testina magnetica a mezzo di un trasformatore di ingresso (figura 64), col vantaggio di disporre, in base del primo transistor, di un segnale più alto e di isolare

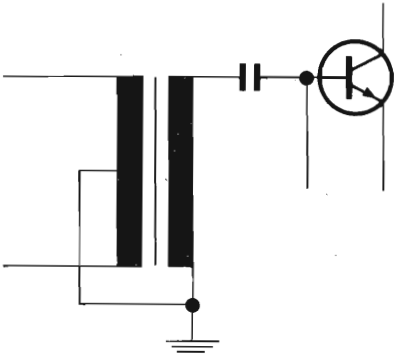


Figura 64

galvanicamente la testina dell'amplificatore, a tuttoi vantaggio del rapporto segnale/disturbo. Naturalmente, il trasformatore deve essere di qualità adeguata al resto dell'amplificatore; con una normale testina da 80 mH, conviene che il rapporto di trasformazione non sia maggiore di 1/3 e che il condensatore sia dimensionato con cura, per mantenere la risonanza molto al di sotto della banda trasmessa.

Il guadagno conseguibile con lo stadio descritto, si aggira sui 25-30 dB, secondo l'equalizzazione richiesta; qualora fosse utile disporre di un guadagno più elevato, dipendentemente dalla larghezza della pista registrata, si può farlo precedere da uno stadio avente un guadagno limitato (10-12 dB) ed una impedenza di ingresso non inferiore a 100 KΩ (figura 65).

Se la testina di lettura avesse una induttanza superiore ad un centinaio di mH, è senz'altro preferibile abbandonare l'idea dell'accoppiamento a trasformatore. All'uscita del prestadio è previsto un trimmer (> 10KΩ), che consente di regolarne il guadagno.

Lo stadio finale del preamplificatore, negli apparecchi di alto livello, è quasi sempre un controfase a simmetria complementare; una disposizione circuitale molto valida, rappresentata in figura 66, impiega due transistor finali da un watt, funzionanti, ciò è molto importante, in **classe A**. Con una corrente di una decina di mA, dispone di una dinamica di poco meno di 20 dB, rispetto al segnale nominale di +6 dBm (circa 1,5 V), di un guadagno di 20 dB, di una distorsione, sempre riferita al

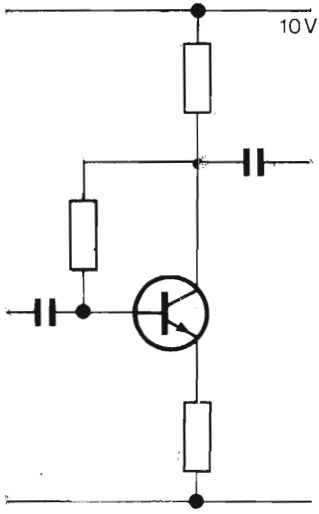


Figura 65

segnale nominale, inferiore allo 0,1%, entro tutta la larghezza di banda, e di una impedenza di uscita di circa 5Ω.

Siccome in tutti i registratori le tre testine (cancellazione, registrazione e lettura) sono, di regola, molto ravvicinate, non è raro il caso che la testina di lettura «peschi» la 100 kHz della testina di cancellazione; la presenza di questo segnale non comporta alcun danno nè al supporto magnetico, nè al segnale di uscita dallo stadio finale, ma disturba durante la regolazione e la messa a punto dell'impianto. È perciò consigliabile eliminarlo mediante una trappola, accordata sulla frequenza di cancellazione, inserita fra l'uscita del prestadio ed il trimmer (punto x della figura 65). Si notino nelle figure 65 e 66 i condensatori C_3 e C_4, la cui funzione è quella di limitare la banda passante.

Con una semplice commutazione, un preamplificatore realizzato con i criteri esposti, è in grado di disporre di diverse equalizzazioni, adattandosi, di conseguenza, ai vari standard di registrazione. Negli apparecchi portatili, in quelli per uso domestico ed, a maggior ragione, in quelli a cassetta non esiste un preamplificatore di lettura nel senso letterale del termine. È nei primi stadi dell'amplificatore di potenza che viene operata l'equalizzazione, naturalmente adeguata alle modeste prestazioni offerte dal complesso.

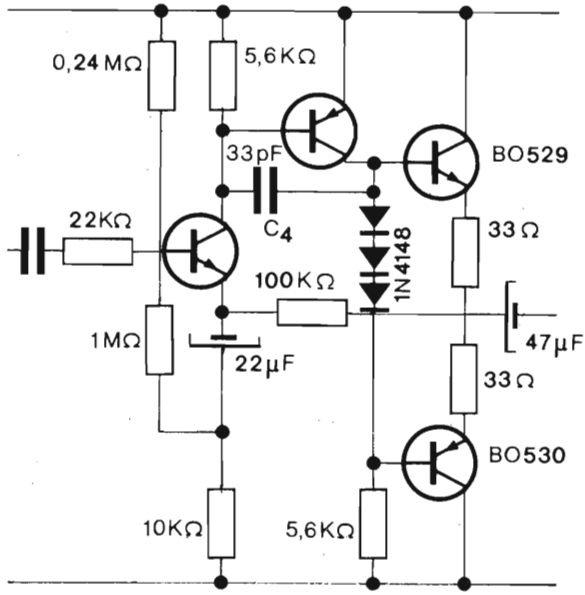


Figura 66

5.7 - L'alimentazione

L'equipaggiamento elettronico di un registratore magnetico da studio comprende, in definitiva, l'amplificatore di registrazione, il preamplificatore per la testina di lettura, l'oscillatore a frequenza ultraudibile ed il V.U. meter. Talvolta, conseguentemente al genere di lavoro a cui lo studio è destinato, torna utile l'aggiunta di dispositivi con funzioni accessorie (V. § 8); inoltre sono sempre presenti nell'apparecchiatura lampadine di segnalazione, pulsanti luminosi, ecc., per cui l'assorbimento totale di corrente può giungere, nei casi-limite, a 200-250 milliampère. Per assicurare un largo margine di sicurezza, che oltre a tutto favorisce una migliore stabilità della tensione, conviene sovradimensionare l'alimentatore, assegnandogli un carico massimo di circa 350 mA.

Poiché una tensione di alimentazione perfettamente stabilizzata è essenziale per un registratore a livello professionale, può servire da esempio lo schema di figura 67, che rappresenta un alimentatore da 350 mA circa, previsto per una tensione di uscita di 39 V, corrispondente a quella utilizzata nell'equipaggiamento descritto.

Poichè il transistor di potenza T_1 può venire a dissipare, nella condizione limite, più di 3 W, è opportuno che venga montato su un piccolo dissipatore, che limiti la sopraelevazione della temperatura. Nel momento della chiusura dell'interruttore che fornisce corrente al primario del trasformatore, la tensione fra emettitore e collettore del transistor è uguale alla tensione di uscita, quindi è necessario che questo sia previsto per una tensione minima di rottura non inferiore ad una cinquantina di volt.

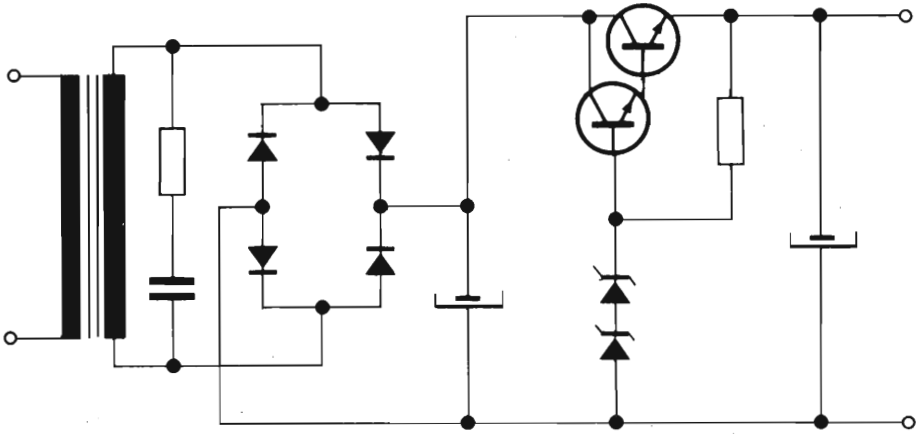


Figura 67

Il transistor T_2 che forma il darlinghton, può essere un qualsiasi transistor di piccola potenza, purché disponga della stessa tensione di rottura; la stabilità della tensione risulta tanto migliore quanto più alto è il guadagno di questo transistor.

La tensione di uscita risulta inferiore alla tensione di zener di un volt circa, a causa delle soglie dei transistor T_1 e T_2. Per questo, sulla base di T_2 sono previsti due diodi zener da 20 V, non esistendo la tensione di 40 V nelle serie normalizzate dei diodi zener.

Questa disposizione circuitale presenta il vantaggio di una estrema semplicità, pur offrendo delle buone prestazioni. La tensione di uscita è, però, legata alla tolleranza dei diodi zener, che, di norma, vengono garantiti al 5%, e la variazione della tensione di uscita, per una variazione della tensione di rete del 10% e della corrente nel carico compreso fra 0 e 350 mA, si aggira sul 2%; inoltre non dispone di alcuna protezione in caso di eventuali cortocircuiti del carico.

Per questi motivi viene sovente usato il circuito di figura 68, più sofisticato, ma rispondente ad esigenze più severe. La resistenza R_1 e il transistor T_3 costituiscono un partitore di tensione; la base di T_2 è collegata al collettore di T_3, il cui emettitore è connesso alla massa attraverso il diodo zener ed è, perciò, a tensione costante. Regolando la corrente del collettore di T_3, mediante il trimmer P_1 si può variare la tensione di uscita, portandola esattamente al valore richiesto.

Eventuali scarti di tensione, indipendentemente dalla causa che può averli provo-

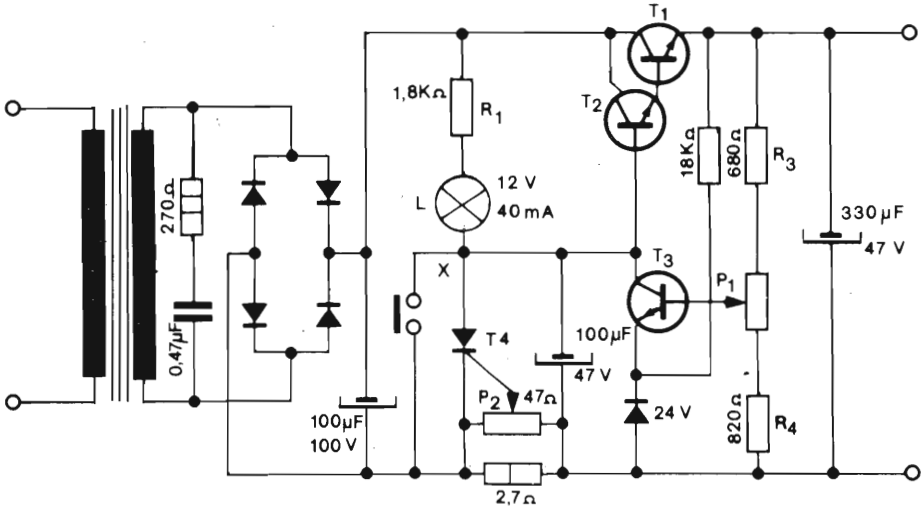


Figura 68

cati, arrivano tramite il trimmer, alla base di T_3 e, fruendo del guadagno del transistor, riportano la tensione di uscita al suo esatto valore.

La tensione fra collettore ed emettitore di T_3 è uguale alla tensione di uscita, meno la tensione di zener, e la potenza dissipata di pochi milliwatt, quindi qualsiasi transistor di segnale si presta allo scopo; l'unico requisito che gli si richiede è un guadagno in corrente molto alto, perché quanto più alto è il guadagno tanto migliore risulta la stabilizzazione.

Le resistenze R_3 ed R_4 limitano il campo di regolalzione del trimmer e ne riducono la dissipazione.

Il tiristor T_4 costituisce una efficacissima protezione dai corti circuiti; quando la corrente nel carico, che percorre, naturalmente, la resistenza R_5, supera i limiti di sicurezza, la tensione ai suoi capi provoca l'innesco dell'SCR, il quale mette a massa il punto **x** e manda, di conseguenza, all'interdizione i transistor T_1 e T_2. Il trimmer P_2 serve a regolare al giusto valore il punto di innesco del tiristo.

Al cessare della condizione di corto circuito, l'alimentatore non ripristina spontaneamente il suo stato primitivo, ma richiede che venga disinnescato il tiristor, cortocircuitandolo per un istante. Questa necessità di un intervento manuale, non è un inconveniente, perchè, al contrario di quanto avviene nei sistemi a ripristino spontaneo, nessuna corrente può scorrere nel circuito di stabilizzazione e resta eliminato il pericolo che il perdurare del corto circuito possa finire col danneggiare ugualmente i transistor di regolazione. La sola corrente che circola nell'alimentatore descritto è la debole corrente di mantenimento dell'SCR, che ammonta ad alcune decine di milliampère. Nei circuiti a ripristino automatico, al contrario, l'eccessiva corrente nei transistor finali provoca il blocco dell'erogazione da parte dell'alimentatore, ma questo blocco permane fino a tanto che dura il sovraccarico nello stadio finale, il che equivale a dire che, in caso di cortocircuito permanente, i transistor di regolazione permangono in condizione di sovraccarico, fino a quando qualcuno non interviene a togliere corrente all'ingresso dell'alimentatore.

In serie con la resistenza R_1, una lampadina micro **L** da 5-6 V, 60 milliampère, si accende quando si verifica il corto circuito o l'eccessivo sovraccarico.

Questo alimentatore, a pari condizioni di quello di figura 67, assicura una stabilità di tensione prossima allo 0,5%, una protezione veramente efficace dai cortocircuiti e dai sovraccarichi ed una precisione assoluta della tensione in uscita. Se largamente dimensionato è totalmente esente da deriva a lungo termine.

La figura 69 si riferisce ad un alimentatore che impiega un circuito integrato, al quale è affidato il compito di pilotare il transistor di stabilizzazione. È protetto dai cortocircuiti ed assicura una buona stabilità della tensione di uscita, tuttavia è scarsamente utilizzato nei magnetofoni in genere e nei complessi da studio in modo particolare.

Gli apparecchi portatili sono, naturalmente, alimentati da pile. Quelli ad alto livello professionale sono quasi tutti previsti per una velocità del supporto magnetico di 9,53 cm/sec. La tensione di alimentazione si aggira in genere sui 18 volt ed il motore dispone di regolazione elettronica della velocità.

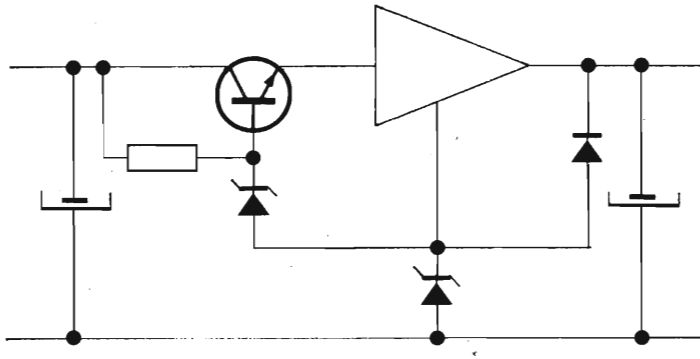


Figura 69

5.8 - Generatore di controllo

La maggior parte degli impianti di registrazione professionali è corredata di un generatore di segnali a frequenza acustica, che può essere di valido aiuto nella messa a punto del complesso. In genere, si tratta di un oscillatore RC che dispone di un certo numero di frequenze fisse (quasi sempre non più di tre o quattro), che può essere collegato all'ingresso dell'amplificatore di registrazione, consentendo così di controllare i principali punti della caratteristica di frequenza della catena.

La figura 70 rappresenta lo schema di un generatore previsto per le frequenze di 100 - 1000 - 10.000 Hz. Può fornire un segnale massimo di circa un volt, su di un carico di qualche migliaio di Ohm. Il trimmer P_1 controlla il tasso di reazione e deve venire regolato, una volta tanto, per il più basso livello di distorsione, e per la migliore condizione di stabilità, mentre P_2 regola il livello di uscita, che pure deve essere stabilito una volta per tutte. Per assicurare una buona stabilità in frequenza, è opportuno che vengano impiegati, nel ponte di Wien, condensatori a coefficienti di temperatura negativo e resistenze a strato metallico. Selezionando opportunamente questi componenti la tolleranza in frequenza del generatore risulta migliore del 2% e la sua stabilità eccellente.

5.9 - Assiemaggio

A questo punto è possibile completare lo schema di principio illustrato nelle figura 47. Come si è fatto rilevare in precedenza, è della massima importanza che la corrente a frequenza ultraudibile non possa circolare negli amplificatori; specialmente in quello di registrazione la sua presenza è molto dannosa, perchè, attraverso

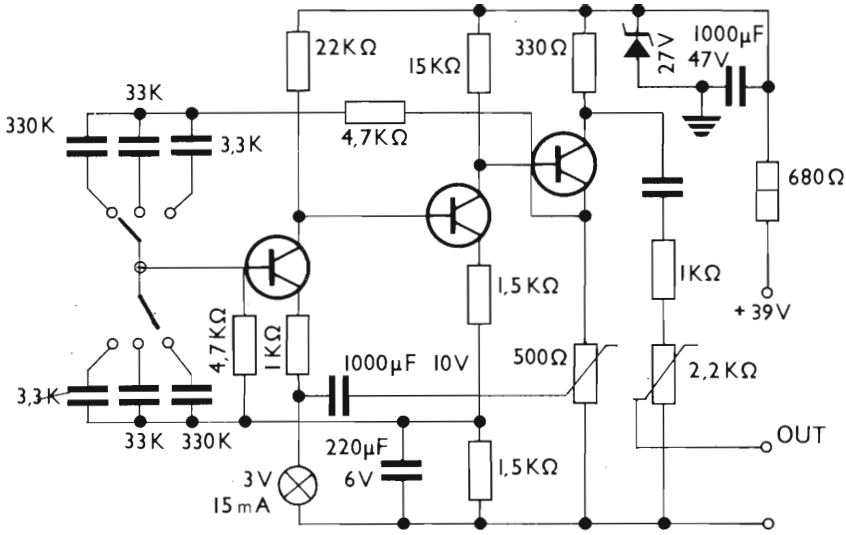


Figura 70

alle capacità parassite ed alle eventuali reti di controreazione, può arrivare allo stadio di ingresso o a quelli intermedi e, da qui, presentarsi all'uscita, sfasato rispetto al segnale originale; la conseguenza è una distorsione del segnale di polarizzazione applicato alla testina, che è causa di notevole rumore di fondo.

Poichè la corrente di polarizzazione deve, necessariamente, venire iniettata nella testina assieme al segnale a frequenza acustica da registrare, è necessario bloccarle la via verso lo stadio finale dell'amplificatore di registrazione. La figura 71 illustra tre disposizioni circuitali adatte allo scopo.

L'impiego del gruppo RC (soluzione a) è limitata ai magnetofoni molto economici, perché dispone di una attenuazione di soli 6 dB per ottava e richiede, inoltre, una resistenza notevolmente elevata in serie col circuito di uscita del segnale da registrare: preferibili, quindi, le soluzioni b e c; l'ultima, in particolare, è certamente quanto di meglio si possa desiderare, perchè il circuito trappola **LC** accordato sulla frequenza di polarizzazione, presenta una impedenza elevatissima alla risonanza, che diviene trascurabile nella banda di frequenze da registrare. Se l'induttanza e la capacità sono giudiziosamente dimensionate, è facile ottenere una attenuazione della frequenza di bias di 45-50 dB. La capacità del condensatore C_1 deve essere scelta in modo da non provocare attenuazione della più alta frequenza da registrare.

È bene che la trappola od il filtro passa-basso non siano sistemati sul circuito stampato dell'oscillatore e men che meno su quello dell'amplificatore di registra-

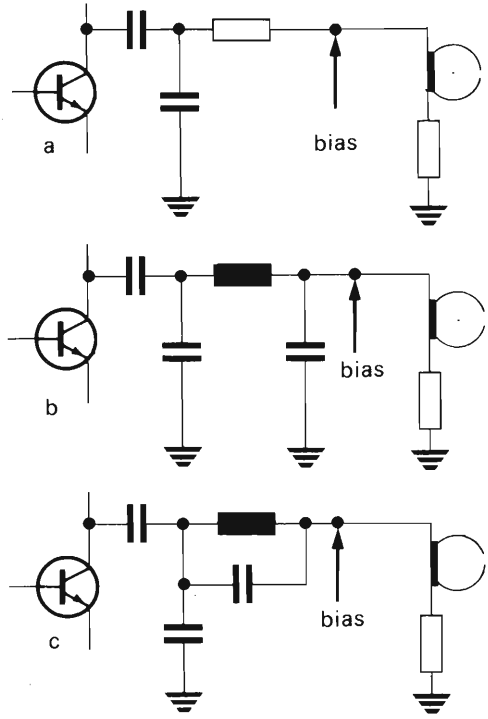


Figura 71

zione, onde evitare che i flussi dispersi ne riducano l'efficacia; è preferibile che costituiscano un gruppo a sé. Se si tratta di un circuito trappola deve essere situato in posizione accessibile, per agevolarne la regolazione, e tale da consentire collegamenti molto corti con l'amplificatore di registrazione e con l'oscillatore. Naturalmente, per corti che siano, i collegamenti devono essere fatti con cavetto coassiale.

Un secondo particolare riguarda il V.U. meter. Se viene impiegato un V.U. meter tradizionale non vi sono problemi: basta connetterlo in parallelo all'uscita del mixer e regolare il guadagno dell'amplificatore di registrazione, fino a far coincidere l'indicazione del 100% con la corrente di segnale prescritta per la testina.

Se, al contrario, viene impiegato (come è la tendenza moderna) uno strumento elettronico, del tipo di quelli discussi nel paragrafo 5 di questo capitolo, è più conveniente fare uso dell'apposita presa a valle dello stadio di ingresso dell'amplificatore, indicata con **V** nella figura 53, il cui livello può venire regolato da apposito trimmer.

Un vantaggio notevole, offerto da questo tipo di strumento, è quello di consentire la misura della corrente di polarizzazione, commutandolo sulla resistenza $\mathbf{R_2}$ situata fra massa ed il punto **B**.

Il quadrante del microampèrometro, in questo caso, dovrà disporre di una seconda scala che fornisca l'indicazione diretta della corrente che percorre la resistenza (10-12 mA f.s.).

Con una normale testina professionale da 7 mH, una resistenza $\mathbf{R_2}$ da 50 Ohm ed una sensibilità massima del voltmetro elettronico di 500 mV fondo scala, si potrà portare in taratura lo strumento agendo sull'apposito trimmer (figure 60 e 61). Una terza posizione del commutatore permetterà di collegare il V.U. meter all'uscita del preamplificatore di lettura e misurare, così, il livello del segnale effettivamente registrato.

Nulla impedirebbe, naturalmente, di misurare anche la corrente di cancellazione, ma la sua conoscenza presenta scarso interesse, in quanto non si tratta di un valore critico.

Lo schema a blocchi dell'apparecchiatura completa, così concepita, che si riferisce ad un complesso a livello professionale, assume la configurazione di figura 72. Il commutatore $\mathbf{SW_1}$ consente di collegare l'ingresso del monitor sia all'uscita del preamplificatore di lettura, che all'apposito terminale dell'amplificatore di registrazione, per consentire il confronto immediato fra il segnale registrato ed il segnale di ingresso. Mediante il trimmer $\mathbf{P_1}$ i due segnali vengono portati esattamente allo stesso livello; questo accorgimento è molto importante perchè la valutazione qualitativa di due segnali aventi differente livello è ingannevole, in quanto la curva di sensibilità dell'orecchio varia notevolmente col livello del suono percepito (figura 98). Il secondo commutatore a tre posizioni ($\mathbf{SW_2}$) è previsto per il voltmetro elettronico; anche qui, mediante il trimmer $\mathbf{P_2}$, si può regolare l'indicazione del V.U. meter per fare sì che, qualunque sia il livello del segnale che viene registrato, l'indicazione fornita, sia sul canale entrante che sul canale di lettura, risulti uguale. La terza posizione del commutatore collega il V.U meter all'uscita B dell'amplificatore di registrazione e consente di leggere, sull'apposita scala dello strumento, il valore della corrente di polarizzazione.

All'inserzione del generatore di controllo provvede il commutatore $\mathbf{SW_3}$ che svolge la duplice funzione di chiudere il circuito di alimentazione del generatore e di collegare quest'ultimo all'ingresso dell'amplificatore di registrazione.

Di regola, mettendo in funzione il complesso elettronico, mediante l'interruttore di rete, l'apparecchio non risulta abilitato alla registrazione, ma solamente alla riproduzione di eventuali segnali già registrati. L'abilitazione della registrazione può essere ottenuta, manualmente, solo quando il nastro è già in moto e scorre nel giusto senso. A questo provvede il relè **K**, azionato mediante i soliti due pulsanti «on» ed «off», vincolati ai consensi del registratore. In queste condizioni viene eliminato il pericolo di false manovre, con le spiacevoli conseguenze che possono derivarne.

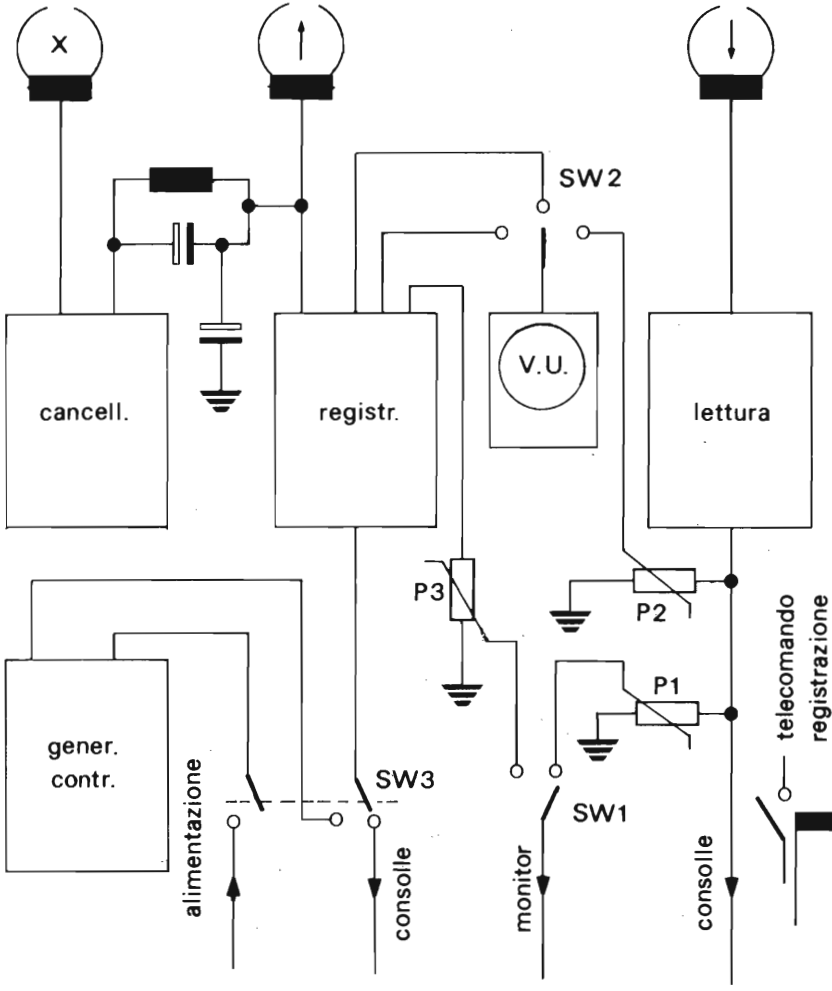

X
cancell.
registr.
SW2
V.U.
lettura
P3
P2
P1
telecomando
registrazione
gener.
contr.
alimentazione
SW3
consolle
monitor
SW1
consolle

Figura 72

I cavi di collegamento delle testine magnetiche devono, naturalmente, essere schermati: per quanto concerne la testina di lettura non si incontrano grossi problemi: anche alla più alta frequenza del segnale registrato, la probabilità che la testa possa entrare in risonanza, a causa della capacità del cavo, è piuttosto remota. Normalmente si impiega del cavetto bipolare, avente una capacità non eccessiva e molto ben schermato, perchè anche il cavo è suscettibile di raccogliere disturbi, dovuti a cause esterne (per lo più flussi dispersi di motori o di trasformatori). Si dà, di solito, la preferenza al cavetto bipolare, perchè è indispensabile che uno dei terminali della testina venga collegato direttamente e **solamente** col punto freddo del relativo preamplificatore, mentre la schermatura può venire mandata a massa, per suo conto, sulla carcassa del recorder. Il cavetto per microfoni, in genere, si presta bene.

I cavi di collegamento delle testine di registrazione e di cancellazione sono percorsi dalla corrente a frequenza ultraudibile; si richiedono, pertanto, cavi coassiali a bassa capacità, perchè risonanze e rotazioni di fase sono sempre in agguato. Tra l'altro, una capacità rilevante può introdurre un errore nella misura della corrente di polarizzazione, effettuata sulla resistenza disposta in serie con la testina di registrazione, per la presenza della reattanza capacitiva del cavo, che vi fa scorrere una corrente, sfasata di circa 180° rispetto alla corrente che scorre nella testina. Siccome nel cavo coassiale lo schermo costituisce il conduttore «freddo», è necessario che sia accuratmente isolato dalla carcassa.

Di regola, nella quasi totalità delle apparecchiature di registrazione, l'equipaggiamento elettronico è montato nello stesso rack del recorder, così che i cavi di connessione alle testine si riducono ad alcune decine di centimetri, per cui i problemi relativi alla loro lunghezza spariscono, ma non mancano casi particolari in cui è necessario tenerne conto.

Tutto il cablaggio del rack deve essere steso razionalmente; occorre tenere sempre presente che la testina di lettura è un sensibilissimo rilevatore di campi magnetici, per cui è di vitale importanza che i conduttori, percorsi da corrente a frequenza di rete, non formino anelli e non passino troppo vicini alla testina; è anche buona norma trecciarli, in modo da ridurre a valori molto bassi il campo esterno.

Nei registratori portatili per impieghi professionali, naturalmente alimentati da batterie di pile o di accumulatori al nichel cadmio, non esiste questo problema, ma, conseguentemente alle esigenze di peso e di ingombro, risultano più accentuati quelli dovuti alla presenza di campi magnetici a frequenza ultraudibile.

Vastissime applicazioni trovano i complessi di registrazione a piste multiple nell'industria discografica, perchè consentono di realizzare un notevole risparmio e, soprattutto, perchè offrono al direttore di orchestra più vaste possibilità di espressione e di personalizzazione del brano musicale registrato ed, inoltre, gli danno agio di correggere eventuali errori, senza ricorrere a lunghi e costosi rifacimenti.

Il procedimento consiste nel suddividere l'orchestra in diversi gruppi di elementi

e di registrarli in tempi successivi sulle varie piste disponibili, iniziando, naturalmente, dalla base ritmica, per finire col cantante. Le piste vengono, in seguito, mixate ed il nastro a pista unica, così ottenuto, viene usato per ricavare il disco in triacetato, dal quale si arriverà poi alla matrice, che servirà per lo stampaggio.

La figura 73 rappresenta, a titolo di esempio, lo schema a blocchi di una installazione a quattro piste, nel quale, per maggior chiarezza, sono stati omessi i dispositivi accessori (alimentatori, V.U.meter, generatore di controllo, ecc.).

Tanto il segnale da registrare, con il relativo bias, che la corrente di cancellazione, possono venire commutati sulle singole testine della rispettiva multipla, mentre le singole testine di lettura, munita ciascuna di un proprio preamplificatore, fanno capo alla consolle di regia.

Una disposizione in tutto simile viene impiegata, per fini analoghi, anche dall'industria cineatografica, soprattutto per le operazioni di doppiaggio, che risultano notevolmente semplificate e per consentire lo scambio di colonne sonore fra paesi di lingua diversa.

Un caso particolare di impiego di testine multiple riguarda la registrazione stereo; naturalmente, gli amplificatori di registrazione sono due e fanno capo alle rispettive testine; al bilanciamento dei due segnali provvede la consolle di regia, mediante un potenziometro all'uscita dei preamplificatori microfonici.

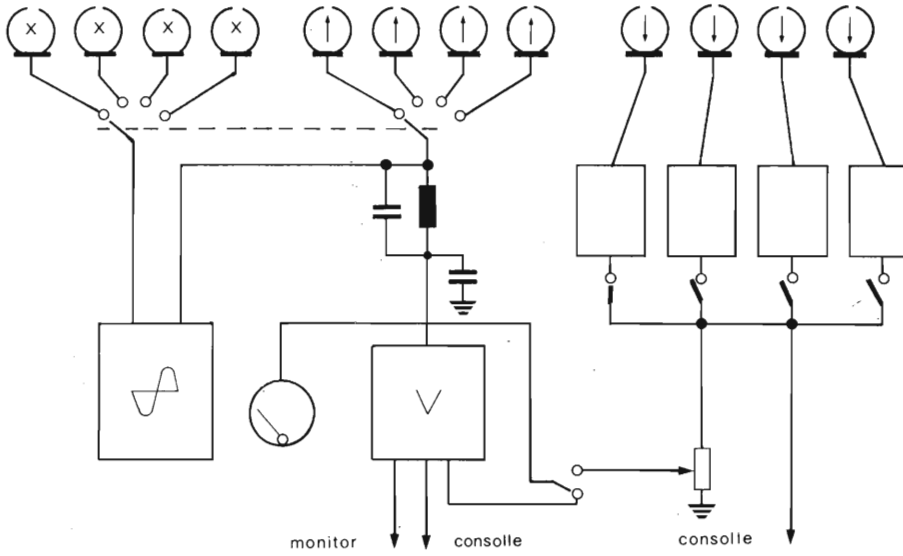


Figura 73

I V.U. meter sono due, uno su ogni canale, e doppio deve essere, chiaramente, il monitor.

Analoga esigenza di bilanciamento riguardo ai preamplificatori di lettura, connessi ciascuno ad una delle due testine.

Gli oscillatori per la cancellazione e la polarizzazione possono essere due (uno per ciascun canale), ma è anche possibile usarne uno solo, purché di potenza sufficiente. Le testine di cancellazione possono, in questo caso, essere disposte in serie fra di loro, mentre per il bias occorre prevedere sull'oscillatore due uscite separate, con possibilità di regolazione indipendente.

6 Collaudi e messe a punto

6.1 - La strumentazione

L'attrezzatura di laboratorio, che si richiede per condurre a termine la proggettazione di apparecchi di registrazione magnetica, per verifiche necessarie in fase di collaudo e per la messa a punto finale, non differisce sensibilmente da quella che si ritrova in un normale laboratorio destinato allo studio delle apparecchiature elettroniche per frequenze acustiche; l'importanza è disporre di strumenti di sicuro affidamento. Si tenga presente che si opera su complessi elettronici che devono presentare tassi di distorsione, a volte, molto inferiori all'1%:, di conseguenza, la distorsione propria del generatore di segnali non dovrebbe superare lo 0,05%, entro l'intera banda di frequenza; questa deve estendersi da circa 10 Hz ad 1 MHz, il segnale fornito non dovrebbe essere inferiore a 3 volt su un carico di 600 Ohm, con tolleranza, sia in frequenza che in ampiezza, non superiore al 3%. Generatori aventi queste prestazioni sono oggi reperibili anche ad un costo non eccessivo.
Non disponendo di un generatore avente una distorsione sufficientemente bassa, è, teoricamente possibile misurare esattamente il contenuto armonico del complesso in esame, tenendo conto che le distorsioni si sommano vettorialmente. Chiamando $\mathbf{d}_G$ ladistorsione del generatore, $\mathbf{d}_A$ quella reale del dispositivo sotto prova e $\mathbf{d}\%$ quella indicata dallo strumento, si potrà scrivere

$$\mathbf{d}_A=\sqrt{\mathbf{d}^2\% - \mathbf{d}^2_G}$$

Come si può osservare, la cosa è possibile, ma il procedimento è piuttosto laborioso e determina una perdita di tempo non trascurabile, specie se si tiene conto che la misura della distorsione fa parte dei controlli periodici delle apparecchiature.

La tabella **V** fornisce i valori precalcolati della distorsione reale in funzione del rapporto $d_G/d\%$, da cui si ha: $d_A = d\%. K$.

Tabella 5

$d_G/d\%$	K	$d_G/d\%$	K	$d_G/d\%$	K
0,90	0,436	0,70	0,714	0,40	0,926
0,85	0,526	0,65	0,758	0,30	0,954
0,80	0,60	0,60	0,80	0,20	0,978
0,75	0,641	0,50	08,66	0,10	0,995

Occorrono, inoltre, almeno due millivoltmetri per c.a., aventi una impedenza di ingresso di una decina di megaohm ed una sensibilità da 1 mV (o meglio 300μV) a 300 V f.s., con tolleranza del 3%; anche di questi il mercato offre una scelta molto vasta.. Al distorsiometro si richiedono prestazioni molto severe: sensibilità massima almeno 1% f.s. (meglio se 0,3%), entro una banda di frequenze che si estende da qualche decina di Hz a non meno di 150-200 KHz e precisione non inferiore al 5% del valore indicato; è indispensabile l'aggancio automatico della frequenza, per poter eseguire misure di distorsione del segnale registrato sul nastro, ed una presa che consenta di prelevare il risiduo armonico, per visualizzarlo sull'oscilloscopio.

Quasi tutti i distorsiometri del commercio prevedono la possibilità di escludere il filtro passa alto, che sopprime la frequenza fondamentale nella misura della distorsione e, quindi, diventare dei millivoltmetri c.a. aventi una banda di frequenze estesa fino al alcuni MHz ed una sensibilità elevatissima; nella maggior parte degli strumenti è compresa fra 0,1 od al massimo 0,3 mV f.s. e non meno di un centinaio di volt f.s., suddivisa in diverse scale. Lo strumento indicatore consente, oltre alla lettura diretta della percentuale di distorsione, quella del livello del segnale, con scale sia in tensione che in dB, quindi è particolarmente adatto anche per la misura del rapporto S/N.

Disponendo di un distorsiometro che possiede queste prestazioni, la strumentazione di misura risulata molto semplificata ed il lavoro di ricerca e di messa a punto notevolmente agevolato.

In aggiunta al misuratore del rapporto S/N, è però opportuno disporre anche di un filtro, cosiddetto fisiologico, la cui caratteristica di risposta si accorda con quella rappresentativa delle sensibilità dell'orecchio umano, ai bassi livelli di suono (figura 74). Mediante l'impiego di questo filtro, si ottiene una valutazione più realistica del rapporto segnale-disturbo, perchè sopprime, o quanto meno attenua, quelle frequenze alle quali l'orecchio è meno sensibile. Un filtro di questo tipo, non facilmente reperibile in commercio, può venire realizzato secondo lo schema di figura 75, tenendo però presente che può essere utilizzato solamente all'uscita di amplificatori di potenza o di preamplificatori aventi una impedenza di uscita non

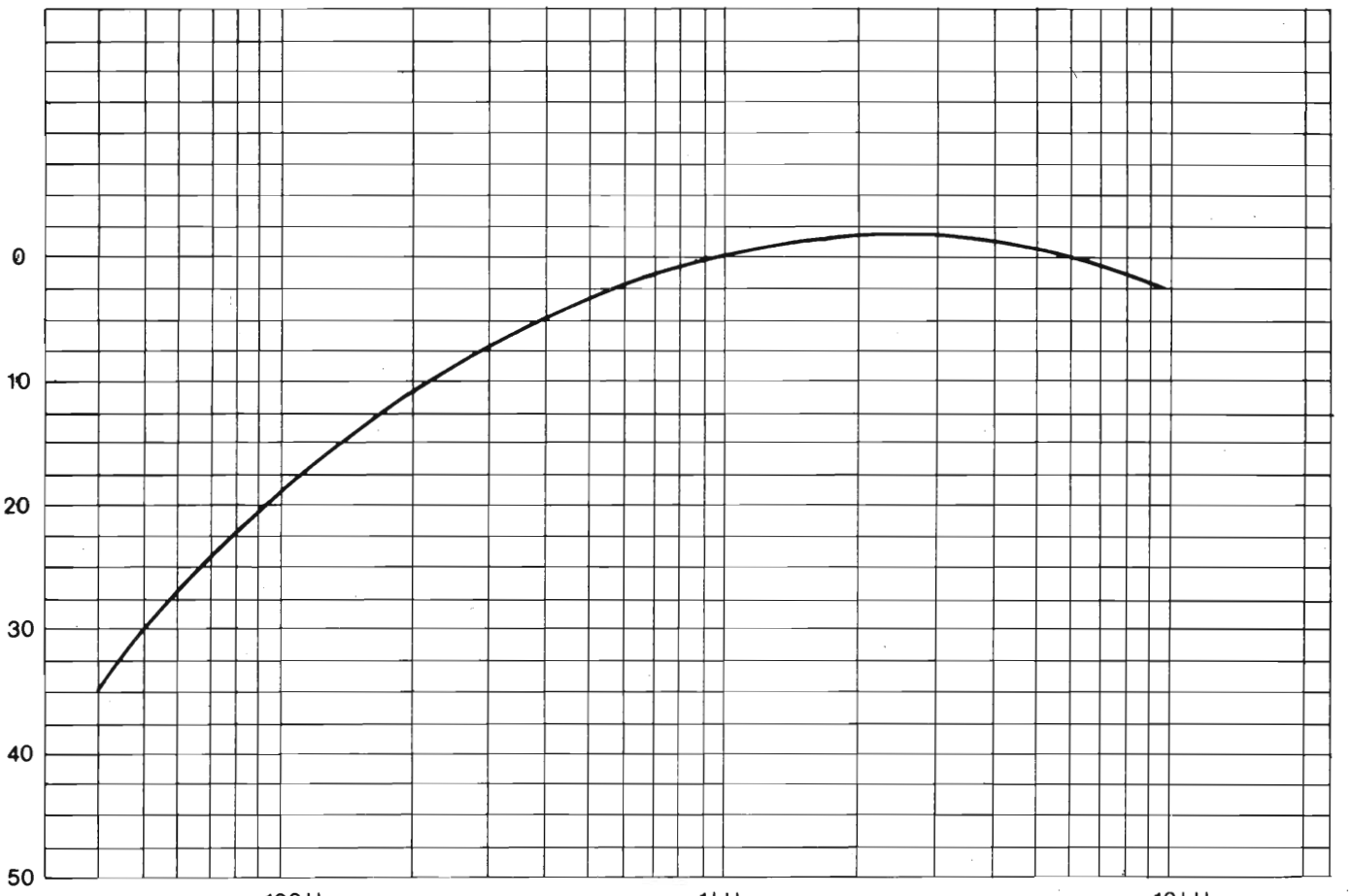


Figura 74

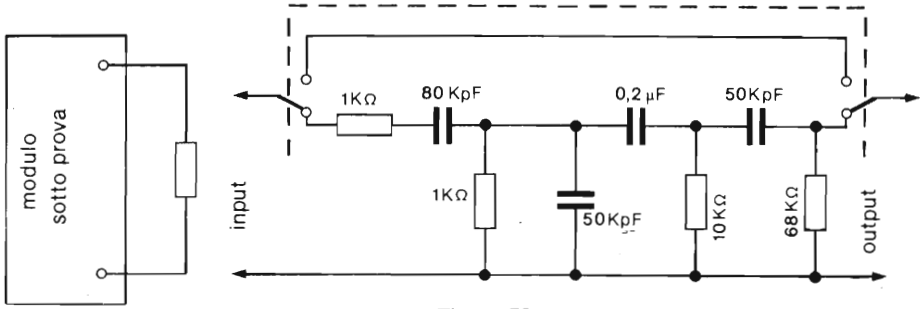


Figura 75

superiore ad alcune decine di Ohm; ciò si verifica, generalmente, nel caso di preamplificatori a livello professionale. Chiaramente, la sua perdita di inserzione è tutt'altro che trascurabile e deve, perciò, essere opportunamente compensata. Per comodità il tutto può essere montato entro una scatola di lamiera o di alluminio, munita dei connettori di ingresso e di uscita e del commutatore che consente di inserirlo e di escluderlo a volontà.

Buone prestazioni si richiedono all'oscilloscopio, quantunque non sia necessario un apparecchio eccessivamente sofisticato. Una doppia traccia di media sensibilità, con banda di frequenze da c.c. a 20-30 MHz, con asse dei tempi e ampiezza verticale tarati ed un trigger di sicuro affidamento, è sufficiente e presenta il vantaggio di una notevole semplicità di impiego. Del tutto inutile la memoria, mentre, in qualche caso può essere conveniente disporre dell'apparecchio fotografico, che viene, in genere, offerto come corredo.

Necessario è pure un ponte R C L di buona precisione, con campi di misura piuttosto estesi e previsto anche per condensatori elettronici. Per la misura delle induttanze sarebbe, forse, più consigliabile, ma non indispensabile, il sistema di misura per confronto, perché permette di controllare, secondo le necessità, sia componente c.a. che scorre nell'induttanza in esame, sia la eventuale componente c.c. La figura 76 mostra la disposizione circuitale, che può venire realizzata con la normale dotazione di cui un laboratorio quasi sempre dispone. La resistenza **R** consiste in una cassetta a decadi (1:99999 Ohm), lo strumento indicatore può essere un millivoltmetro elettronico del tipo citato più sopra ed il commutatore **SW** un pulsante di sicuro affidamento e con resistenza di contatto trascurabile (es. un microswitch di buona qualità).
La misura viene effettuata regolando la resistenza, fino ad ottenere l'eguaglianza della lettura sullo strumento, nelle due posizioni del commutatore. L'impedenza sarà:

$$z = \sqrt{R^2 - r^2}$$

in cui **r** è la resistenza ohmica dell'avvolgimento che, se di basso valore, può essere

trascurata, e l'induttanza:

$$X = \frac{Z}{2 \pi f}$$

Chiamando **e** la tensione letta sul millivoltmetro, la corrente c.a. che scorre nell'avvolgimento é:

$$i = \frac{e}{R}$$

mentre la eventuale componente c.c. è indicata dal milliamperometro **I**.

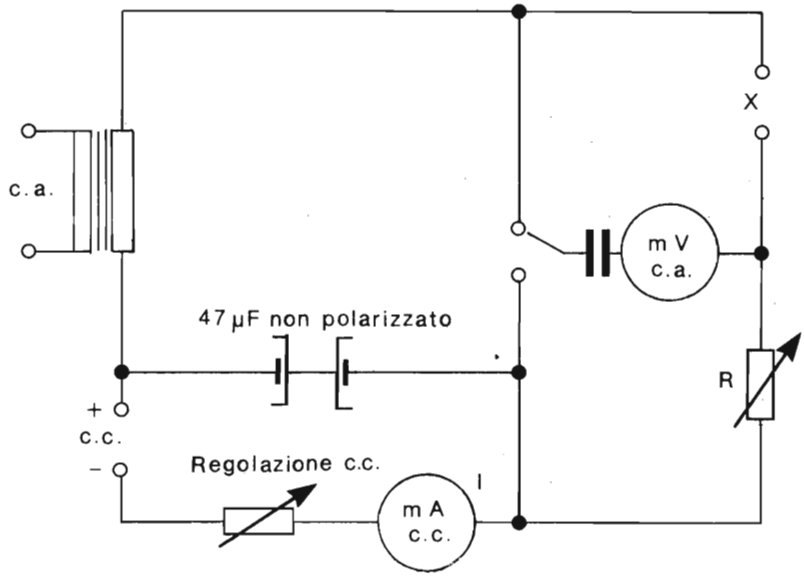


Figura 76

La tensione necessaria all'ingresso del circuito può essere ricavata, a volontà, dalla rete, a mezzo di un trasformatore con molte prese al secondario o di un variac, oppure dal generatore per frequenze acustiche, seguito, quanto necessario, da un amplificatore di potenza.

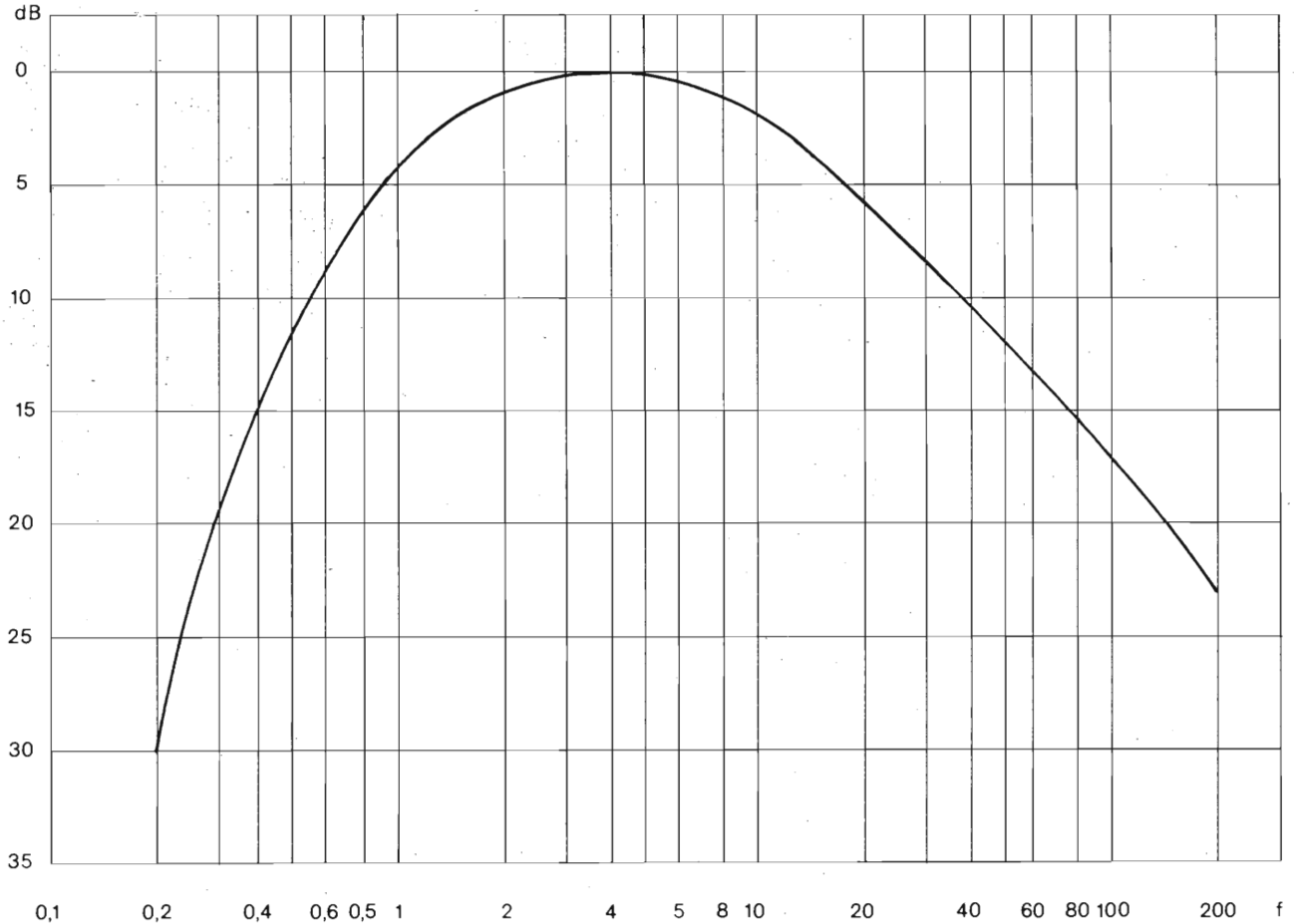


Figura 77

Un frequenziometro digitale, per misurare relative all'oscillatore a frequenza ultraudibile, può essere di qualche utilità, ma non indispensabile. La frequenza può essere misurata per confronto con quella del generatore, facendo apparire sull'oscilloscopio le figure di Lissajours.

Indispensabile è, invece, un buon fluttuometro, per stabilire il tasso di fluttuazione del magnetofono. Di regola, i fluttuometri del commercio dispongono di un filtro, inseribile a volontà, che corregge l'indicazione dello strumento, adattandola alla sensibilità dell'orecchio (figura 77). È un complemento molto utile, perché, alle frequenze di fluttuazione inferiori a 1 Hz e superiori a 20 Hz, l'orecchio è meno disturbato dal flutter, che non alle frequenze comprese in questa banda. I nastri campione per la misura del flutter portano registrato un segnale di ampiezza e frequenza costanti, di 3.000 Hz, secondo lo standard americano, oppure 3.150 Hz, secondo quello tedesco, entrambi situati nella zona in cui l'orecchio è particolarmente sensibile alle variazioni di frequenza. Molti fluttuometri offrono la possibilità di effettuare la misura sia con l'uno che con l'altro standard; altri, mediante opportune commutazioni, consentono di ricavare il segnale standard, che può essere registrato sul nastro per procedere poi alla misura della fluttuazione. Di regola, è anche presente una presa di uscita che consente la applicazione dell'oscilloscopio, allo scopo di visualizzare il flutter; ciò è utile, perché oltre l'ampiezza, consente di esaminare la forma d'onda.

Inutile dire che il laboratorio deve disporre di alcuni alimentatori a tensione regolabile, ben stabilizzati ed efficacemente protetti contro sovraccarichi e cortocircuiti, nonché di un sufficiente corredo di tester, voltmetri e milliamperometri c.c. ed, in genere, di tutti gli accessori di uso comune.

6.2 - Verifiche strumentali

Sia nella fase finale della progettazione dei vari complessi di cui è costituita l'apparecchiatura di registrazione, sia per il collaudo e la messa a punto eventuale di componenti di serie, è necessario procedere a una accurata verifica strumentale delle prestazioni e delle condizioni di funzionamento.

Solo dopo questo controllo, sarà possibile procedere ad una messa a punto finale di tutto l'assieme, sempre per via strumentale e con l'aiuto dei nastri campione, di cui il laboratorio deve avere la necessaria dotazione.

La figura 78 mostra la disposizione circuitale che fornisce tutte le indicazioni necessarie, riguardanti complessi di amplificazione di qualsiasi tipo (guadagno, caratteristica di frequenza, distorsione, rapporto S/N, dinamica, simmetria del clipping). Naturalmente, se il distorsiometro offre tutte le prestazioni previste nel paragrafo precedente, il millivoltmetro diventa inutile e può venire omesso.

Salvo casi particolari, che si verificano piuttosto raramente, è consigliabile procedere nell'esame, iniziando dai primi stadi, per arrivare, da ultimo, allo stadio

di uscita. Applicando il generatore a frequenza acustica all'ingresso del dispositivo sotto prova, è, in alcuni casi, necessario operare un adattamento delle rispettive impedenze (è questo il caso, come si vedrà più avanti, dei preamplificatori per lettura magnetica).

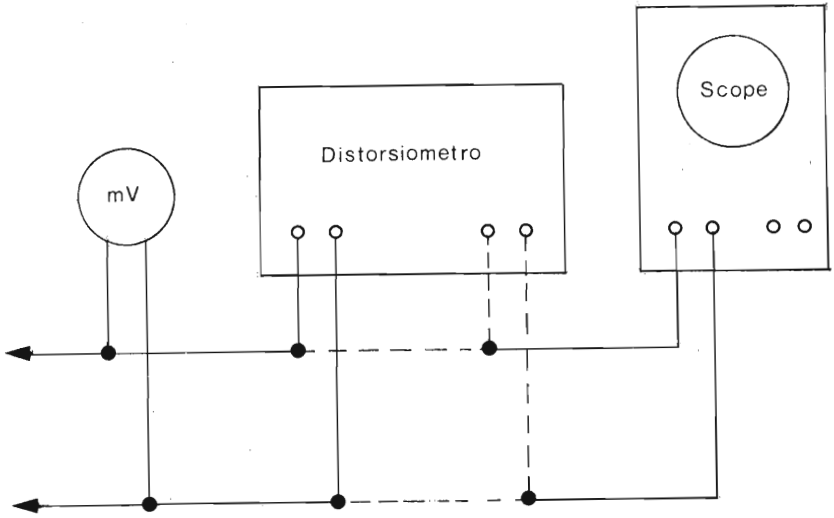


Figura 78

L'uscita dell'amplificatore dovrà, naturalmente, essere collegata al carico nominale previsto.

È una precauzione valida quella di collegare la strumentazione con cavetti schermati a bassa capacità e non troppi lunghi, per evitare la presenza di capacità parassite che, in qualche caso, potrebbero sfalsare le misure.

Prima di procedere alla valutazione delle prestazioni del dispositivo sotto prova, è bene eseguire le misure statiche (corrente di collettore dei transistor, tensione collettore - emettitore, ecc.) verificando, innanzitutto, se i conti quadrano con le basi di progetto. Dopo questa prima verifica, connettendo la strumentazione di misura successivamente all'uscita dei vari stadi, è possibile procedere a una analisi completa e precisa di tutto il complesso.

Come norma generale, le misure del guadagno e della caratteristica di frequenza è bene siano eseguite con il livello d'ingresso previsto in sede di progetto: solo per il rapporto S/N si può operare con un livello di segnale più alto, purché ancora lontano dal clipping.

È bene eseguire, stadio per stadio, l'intera serie di misure, prime fra tutte quelle

del guadagno e del livello che assume il segnale al limite del clipping, sempre riferendosi ai dati previsti nel progetto. Successivamente si procederà alla verifica della caratteristica di frequenza (tenendo conto dell'eventuale equalizzazione), del rapporto segnale-disturbo e della distorsione. Eseguendo quest'ultima misura, è utile collegare l'oscilloscopio ai morsetti di uscita del distorsiometro, previsti per visualizzare il segnale residuo; è, così, possibile vedere di quale ordine è, prevalentemente, il contenuto armonico. Per la valutazione della distorsione è necessario tracciare le due curve, una riferentesi al contenuto armonico in funzione della frequenza, per il livello di ingresso nominale, l'altra in funzione del livello, alla frequenza convenzionale di 1KHz. Appariranno due curve simili a quelle rappresentate nella figura 79.

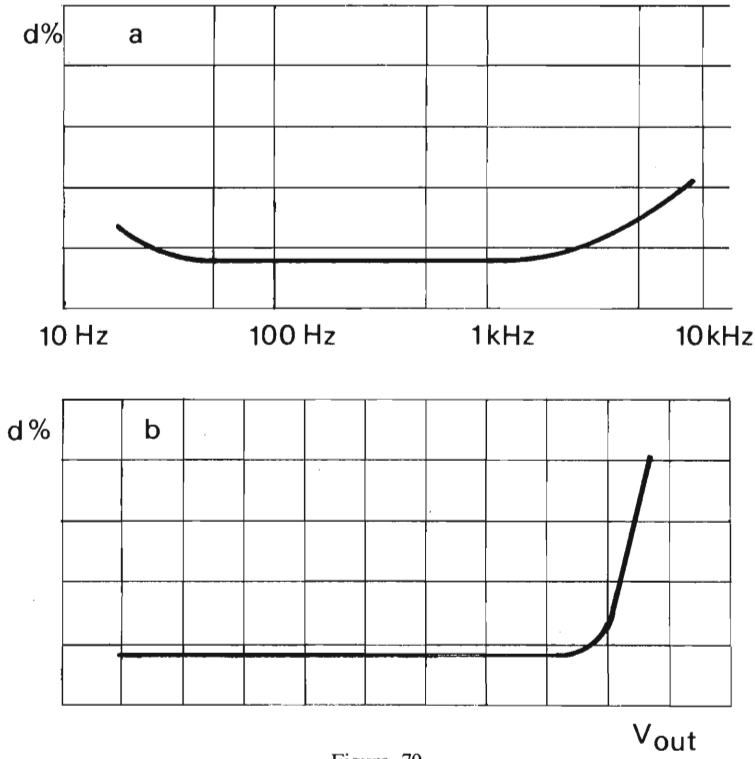


Figura 79

Questo modo di procedere fa risparmiare tempo e consente di individuare, di acchito, eventuali deficienze che rendono necessaria una correzione del valore di qualche componente.

Ultimate le misure è indispensabile procedere alla verifica della temperatura dei componeneti, con particolare riguardo ai semiconduttori, tenendo conto anche delle probabilità condizioni ambientali: una camera climatizzata può facilitare il lavoro e permettere di stabilire con precisione i limiti di temperatura consentiti, ma, in mancanza, un po' di pratica e di buon senso possono farne le veci. Un controllo finale dell'eventuale deriva termica è, comunque, sempre necessario.

Il modo di procedere indicato è valido per misurare su prototipi o su dispositivi ancora in fase di realizzazione e le tolleranze che possono essere ammesse, rispetto ai risultati previsti in sede di progetto, devono essere strettissime.

Trattandosi di collaudi su prodotti di serie, la procedura può essere semplificata. Non sono più necessarie le misure stadio per stadio, ma è sufficiente il rilevamento delle caratteristiche ingresso-uscita; la caratteristica di frequenza può essere rilevata in tre soli punti (100 - 1.000 a 10.000 Hz); la misura della distorsione può venire limitata alla frequenza di 1 KHz; senza preoccuparsi di visualizzare il residuo armonico sull'oscilloscopio e la verifica delle temperature può essere omessa. È bene stabilire, una volta per sempre, le tolleranze accettabili rispetto ai valori rilevati sui prototipi. A meno che non appaiono anomalie nel comportamento del componente sotto prova, un collaudo come descritto è largamente sufficiente.

Se il componente sotto prova è l'amplificatore di registrazione, il generatore verrà collegato direttamente all'ingresso, mentre l'uscita del finale dovrà essere caricata con la sua testina. Per eseguire le misure sullo stadio finale, poiché interessano le grandezze relative alla corrente che scorre nella testina di registrazione e non la tensione ai suoi capi, la strumentazione deve essere collegata alla resistenza **R**, che si trova in serie con la testa, come indicato in figura 80 (V. anche cap. V § 3). La corrente sarà, naturalmente: $\mathbf{i} = \mathbf{e}/\mathbf{r}$ in cui **e** è la tensione letta sullo strumento.

Prima di iniziare il ciclo di misure, si applichi all'ingresso un segnale avente una frequenza di 300 Hz circa ed un livello tale da non portare l'amplificatore vicino al clipping, si legga il valore della tensione sul millivoltmetro e si cortocircuiti temporaneamente la testina: l'indicazione dello strumento non deve variare sensibilmente (in linea di massima non più di 1dB). Ciò sta ad indicare che lo stadio finale si comporta veramente come un generatore di corrente.

Dopo ciò, si può procedere come indicato in precedenza, sia nel caso che si tratti dell'esame di un prototipo, oppure di collaudi, su produzione di serie.

La massima attenzione va prestata alla caratteristica di frequenza, che deve essere quella specificata dalle norme DIN precedentemente citata (V. cap. V § 2) e deve precipitare bruscamente al di sopra della massima frequenza da registrare (figura 81).

Per l'esame del preamplificatore di lettura, non è possibile prescindere dal fatto

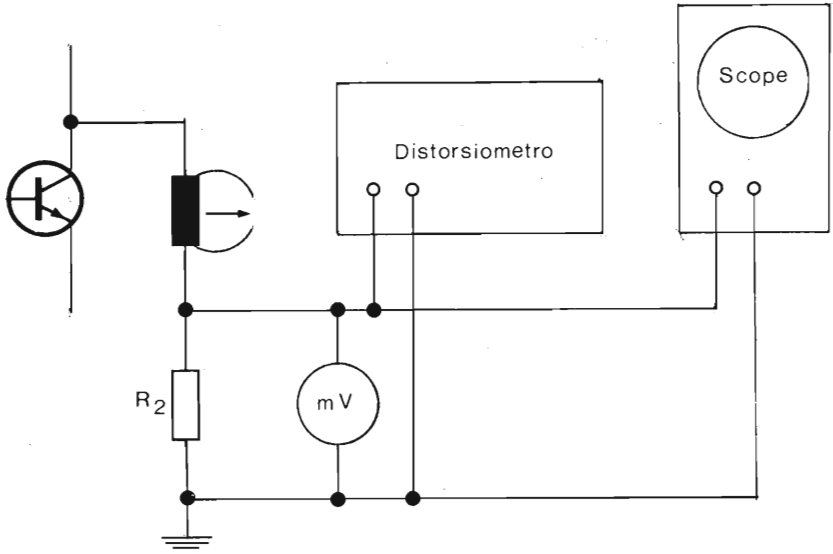


Figura 80

che la sorgente di segnale, destinata ad essere connessa al suo ingresso, è, essenzialmente, una induttanza (la testina magnetica di lettura); per simulare la condizione in cui viene a trovarsi, nella realtà, la sorgente di segnale, è necessario predisporre il circuito di figura 82. È intuitivo che, in queste condizioni, l'ingresso dell'amplificatore non "vede" altro che la testina magnetica, con in serie una resistenza da 1,2 ohm, del tutto trascurabile anche alla più bassa frequenza registrata. La testina rappresentata in figura è una testina di lettura, identica a quella che verrà usata nel registratore.

Il simulatore deve essere realizzato con grande cura, perché la testina tende a raccogliere tutti i segnali indesiderati, provenienti da flussi dispersi di motori e di trasformatori; è quindi necessario provvederla di una duplice schermatura, quella interna in mumetall o leghe affini e l'esterna in ferro; un involucro in rame fra le due schermature sarebbe una raffinatezza non del tutto inutile. Si faccia, inoltre, attenzione che il traferro non si chiuda sullo schermo, alterando, così, l'induttanza della testa. È consigliabile poi, racchiudere sia la testina così schermata, che le due resistenze che costituiscono il partitore di tensione, in un contenitore in ferro, munito dei terminali di ingresso e di uscita, ottenendo così un simulatore, avente un rapporto di segnale di 500/1, di impiego molto pratico.
Se l'amplificatore sotto prova è provvisto di trasformatore di ingresso bilanciato, il

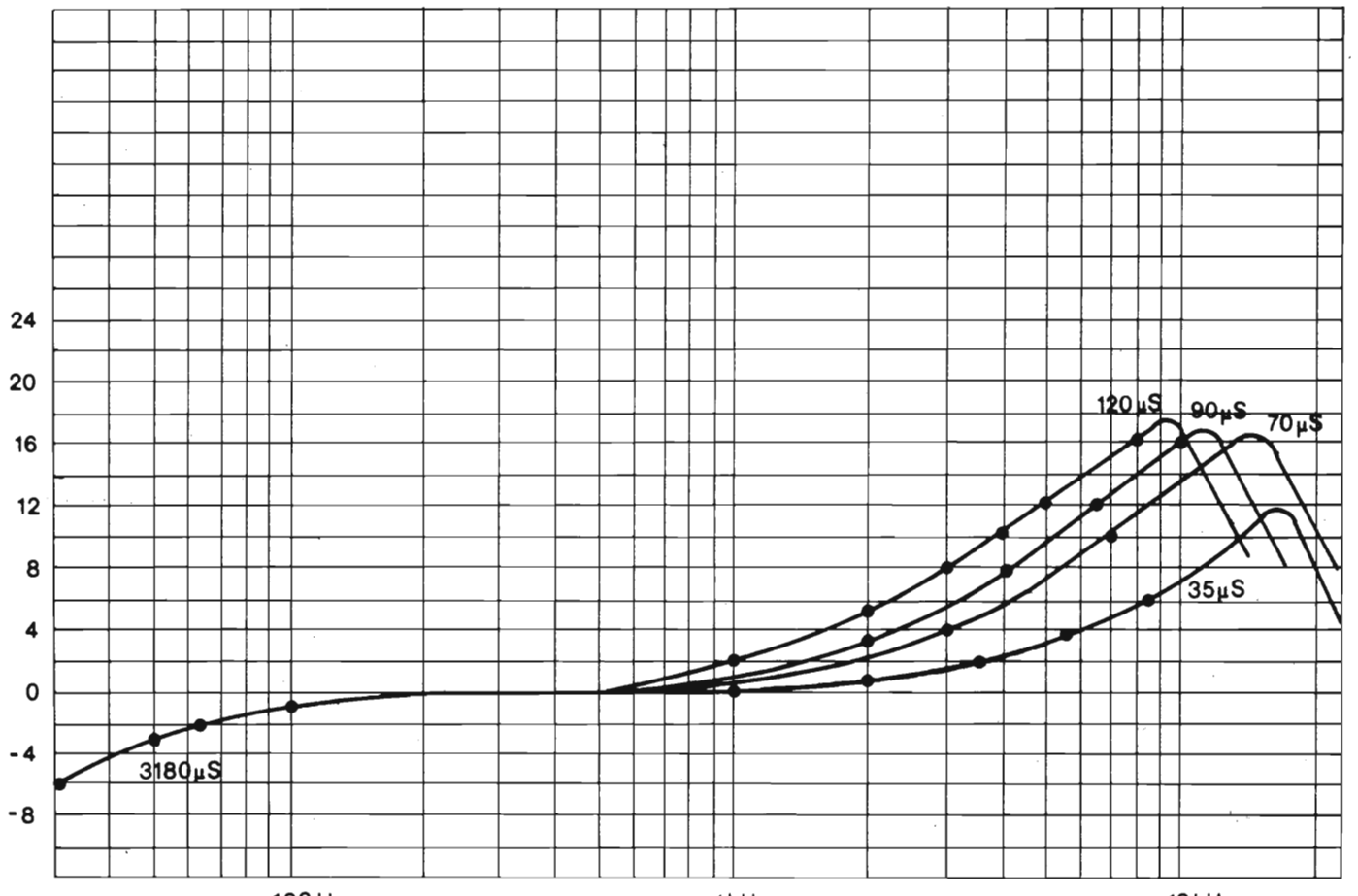

24
20
16
12
8
4
0
-4
-8
120µS
90µS
70µS
35µS
3180µS
100 Hz
1 kHz
10 kHz

Figura 81

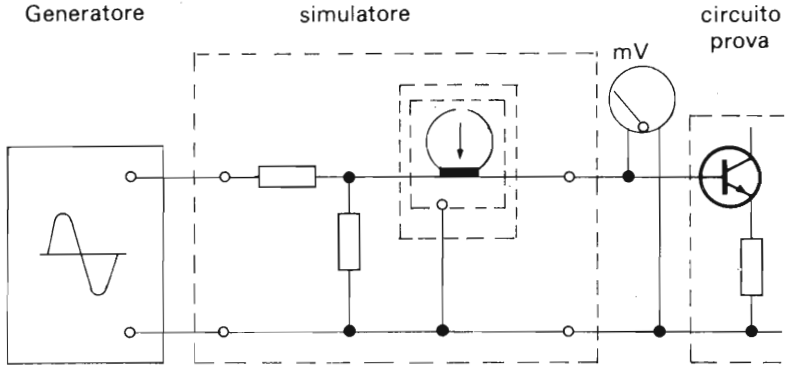


Figura 82

simulatore assume la configurazione visibile in figura 83; il trasformatore, a rapporto 1/1, deve essere di altissima qualità.

Le modalità di misura sono, naturalmente, le medesime più sopra specificate; l'uscita dell'amplificatore deve avere il carico prescritto in sede di progetto (di norma 600 Ohm).

La caratteristica di frequenza dell'amplificatore di lettura deve essere la complementare di quella della testina, vale a dire deve, teoricamente, decrescere di 6 dB per ottava, a partire dalla frequenza più bassa da riprodurre, per poi incurvarsi, fra i

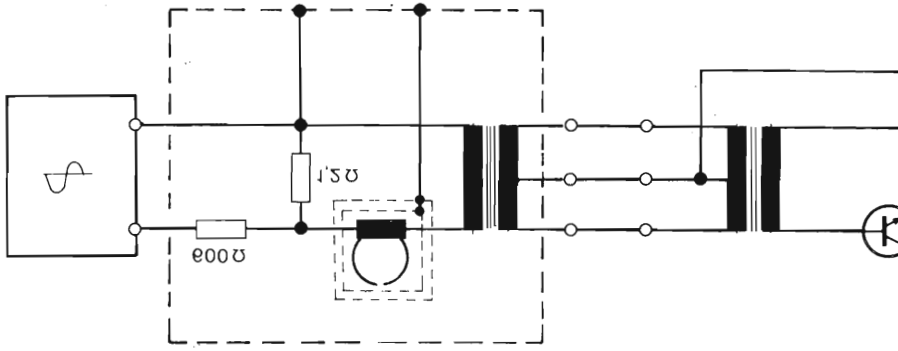


Figura 83

3.000 ed i 4.000 Hz e divenire praticamente lineare (figura 84). Naturalmente, siccome la caratteristica di frequenza è strettamente legata alle dimensioni del traferro ed alla superficie di contatto nastro-testina, in fase di messa a punto dei prototipi è, più che mai, necessario un ultimo ritocco sul registratore completo.

Le misure relative all'oscillatore a frequenza ultraudibile riguardano la frequenza, l'ampiezza e la forma d'onda del segnale. Il rendimento del generatore non ha eccessiva importanza e, di solito, viene in parte sacrificato, a vantaggio di un minor tasso di distorsione.

La corrente richiesta, sia per la cancellazione che per la polarizzazione, dipende, naturalmente, dall'impedenza delle rispettive testine e varia anche in funzione della larghezza della pista. Tutte le industrie produttrici di testine magnetiche, precisano, nei loro cataloghi, sia il valore ottimo della corrente di polarizzazione, che quello della corrente di cancellazione, per ciascun tipo di testina. Prendendo come base le testine professionali normalizzate da 1/4", si può assumere il valore di 80 mA per ottenere una dinamica di cancellazione di 70 dB, come prescritta dalle norme, e di 5 mA per la polarizzazione. Si tratta di valori alti, assai prossimi al caso limite.

Come si è accennato in precedenza, la messa a punto dei prototipi, ancora in fase di elaborazione, è piuttosto lunga e laboriosa, soprattutto perché l'accoppiamento oscillatore-testina è molto critico e perché si impone una notevole stabilità di frequenza, sia a breve che a lungo termine.

La disposizione della strumentazione di misura è indicata in figura 85. L'oscillatore deve, naturalmente, essere caricato con le proprie testine, in serie alle quali (nel lato freddo) devono essere connesse due resistenze. I valori consigliati nello schema

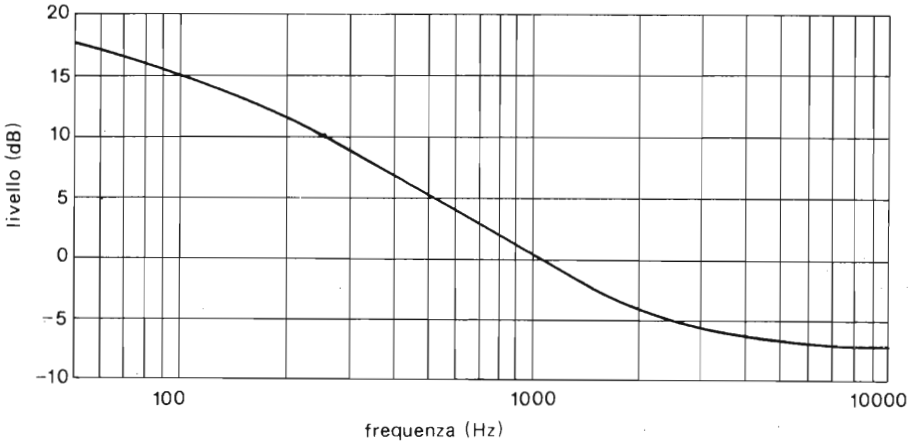


Figura 84

sono previsti per testine professionali normalizzate. Se l'impedenza delle testine fosse più alta, converrà aumentare in proporzione il valore delle due resistenze, per consentire una lettura agevole e precisa.

Conviene iniziare con la messa a punto della cancellazione, provvedendo, innanzitutto, ad accordare la testina sulla frequenza dell'oscillatoe e successivamente controllare la frequenza mediante il frequenziometro, la corrente di cancellazione (**i** = **r**/ **R**) ed il tasso di distorsione. Si tenga presenta che la maggior parte delle anomalie che possono presentarsi in fase di messa a punto dei protoripi, sono da attribuirsi alla bobina oscillante. L'accoppiamento fra primario e secondario è estremamente critico e la capacità fra i due avvolgimenti agevola il passaggio di eventuali armoniche.

Le due resistenze fra base e collettore di ciascun transistor consentono di regolare, a volontà, l'angolo di circolazione della corrente di collettore, mentre quelle in serie ai due condensatori regolano l'accoppiamento.

Quando l'oscillatore è regolato a dovere, variando la tensione di alimentazione non devono verificarsi bruschi salti nè in ampiezza nè in frequenza. Spostando l'ingresso dell'oscilloscopio sull'apposita uscita del distorsiometro, si potrà visualizzare il contenuto armonico della corrente che scorre nella testina, che, come si è detto, deve essere prevalentemente di terza armonica.

Solo quando la cancellazione è perfettamente a punto, spostando l'ingresso della strumentazione (punto C nello schema) ai capi della resistrenza $\mathbf{R}_2$, in serie con la testina di registrazione (punto B), si può controllare la corrente di polarizzazione, che col trimmer nella posizione di massima uscita, deve risultare circa il doppio del

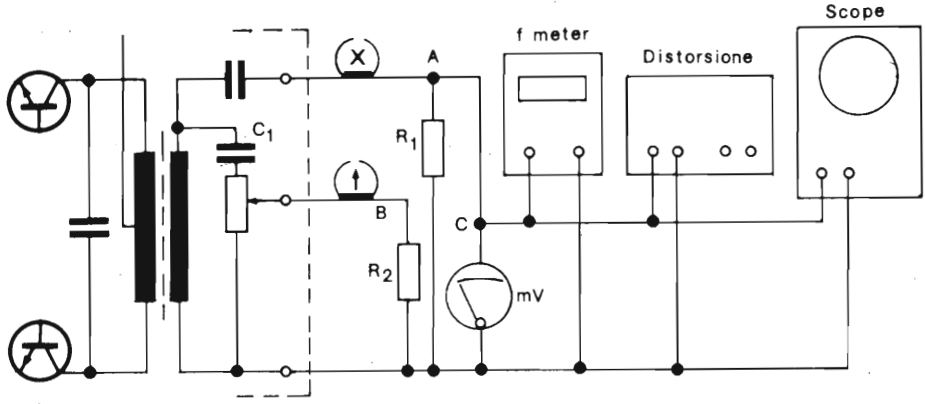


Figura 85

valore prescritto, e dimensionare, di conseguenza, il condensatore C_1, che deve essere il più basso possibile. È questo il solo controllo necessario per quanto riguarda il bias.

Di regola, nei registratori da studio, i cavetti di connessione fra l'equippaggiamento elettronico e le testine sono molto corti. Nel caso eccezionale in cui si prevedesse che la capacità dei cavi, percorsi della frequenza ultraudibile, superasse i 50-60 pF, è opportuno disporre in parallelo alle testine un condensatore avente una capacità che simuli quella del cavo.

Non disponendo del frequenziometro, vale la disposizione circuitale indicata in figura 86. Per la misura della frequenza è sufficiente spegnere l'asse dei tempi dell'oscilloscopio, commutare l'asse verticale sul generatore e cercare il battimento-zero, variando la frequenza del generatore, finché appare sullo schermo l'immagine circolare.

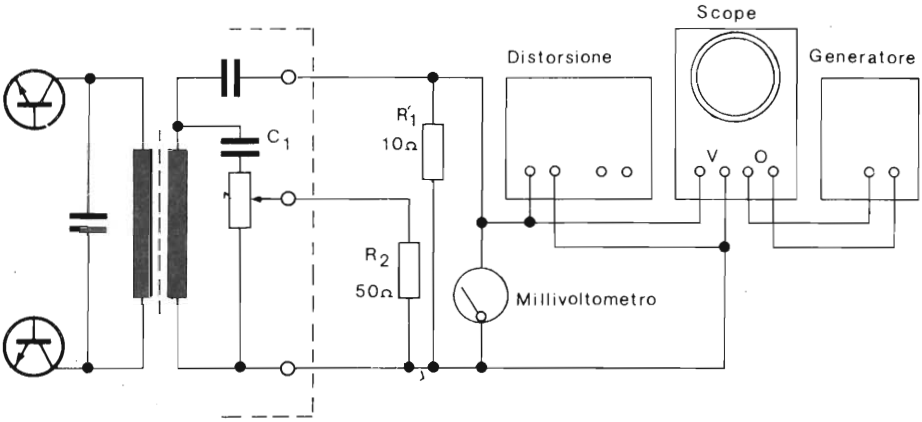


Figura 86

La messa a punto del V.U. meter è molto semplice (figura 87). Si determini dapprima il valore della tensione che deve apparire ai capi di R_2 quando vi scorre una corrente corrispondente al valore di fondo scala del V.U. meter; compiuta questa operazione si regoli la sensibilità dello strumento, mediante il trimmer P_2 (figura 61), fino a portarne l'indice a fondo scala.

Un rapido controllo della caratteristica di frequenza, che deve mantenersi lineare da una trentina di Hz fino alla frequenza dell'oscillatore di cancellazione, è sufficiente a completare l'esame; per quanto riguarda la misura della corrente di polarizzazione, lo strumento risulterà tarato. Circa la taratura relativa al livello del

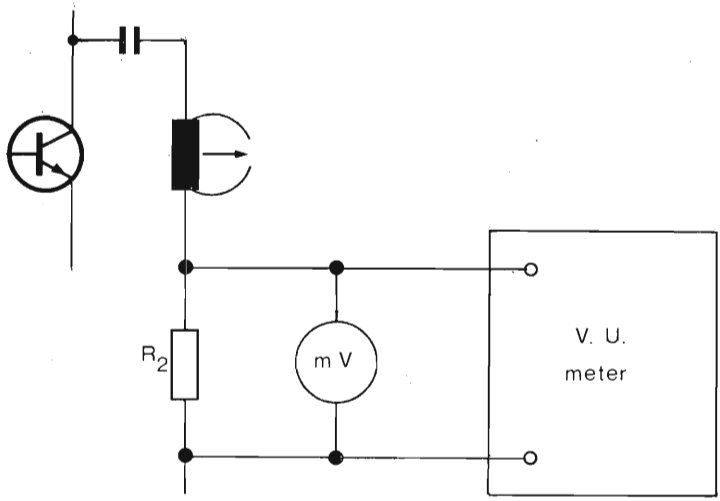


Figura 87

segnale a frequenza acustica, si rimanda al paragrafo 3 di questo capitolo, riguardante le operazioni di messa a punto finale del registratore.

Altrettanto semplice è la regolazione del generatore di controllo: collegati il millivoltmetro e l'oscilloscopio all'uscita del generatore, si regoli il trimmer $\mathbf{P_1}$ (figura 70), fino ad ottenere il massimo livello di uscita possibile, compatibilmente con una buona forma d'onda e con un rapido assestamento del livello stesso, quando si agisce sul commutatore di frequenza. Mediante il trimmer $\mathbf{P_2}$ si regoli il livello di uscita al valore prefissato. Un'eventuale misura della distorsione è, naturalmente, possibile, ma non ci si deve aspettare un contenuto armonico molto basso, cosa che, del resto, non è di alcun pregiudizio, poiché il compito del generatore di controllo è unicamente quello di verificare dei livelli alle diverse frequenze.

Lo schema di figura 88, si riferisce all'alimentatore descritto nel precedente capitolo (figura 68), e mette in evidenza i punti chiave in cui vanno inseriti gli strumenti di misura occorrenti per una completa analisi ed una perfetta messa a punto.

La prestazione che si richiede ad un alimentatore stabilizzato è quella di fornire una tensione costante, al variare del carico fra zero ed il valore massimo previsto in sede di progetto, nonché al variare della tensione di rete entro i limiti del 10% il calcolo dimostra che la tensione c.c. all'ingresso del circuito di stabilizzazione deve essere uguale alla tensione stabilizzata maggiorata del 50% circa. Questo margine copre sia gli scarti della tensione di rete che le variazioni della tensione c.c. ai capi

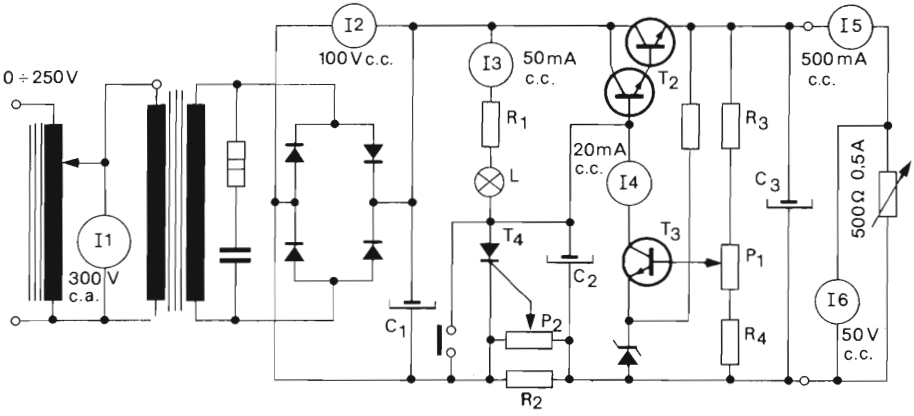


Figura 88

del condensatore C_1, conseguente alle variazioni della corrente erogata. Nel caso in esame, la tensione ai capi di C_1, risulta di circa 58V, con tensione di alimentazione esatta e senza carico in uscita, mentre il valore efficace della tensione ai capi del secondario del trasformatore risulta, tenendo conto delle soglie dei transistor, di circa 48 V.

La corrente di collettore del transistor T_3 non è critica: una decina di milliampère, con tensione di rete al valore nominale e con corrente di uscita zero, è soddisfacente in ogni caso.

Occorre solo assicurarsi che, con alimentazione al -10% e carico massimo di uscita, non si approssimi troppo allo zero.

La tensione ai capi del condensatore C_1 diminuisce con l'aumentare della corrente erogata e viceversa; nelle condizioni limite, di massimo carico e rete a -10%, deve risultare ancora di almeno 5-6 V superiore alla tensione di uscita dell'alimentatore, per offrire un giusto margine di sicurezza.

Per procedere alla messa a punto dei prototipi, si dispongono i cursori dei due trimmer in corrispondenza dei terminali contrassegnati con l'asterisco, e, mediante il variac, si regoli la tensione di ingesso, fino ad ottenere in uscita una tensione superiore di 1 volt rispetto a quella prevista in sede di progetto, quindi si regoli il trimmer P_1 fino a riportare la tensione di uscita al valore esatto; a questo punto la tensione è stabilizzata, sia pure in via approssimativa.

Aumentando la tensione di ingresso fino al valore nominale, la tensione di uscita deve rimanere costante: se si verificasse un lieve aumento, basterà ritoccare P_1. Si applichi ora il carico, regolando la corrente di uscita al massimo valore previsto, e si ritocchi nuovamente il trimmer, se necessario.

Per la messa a punto del circuito di protezione, si porti, agendo sul variac, la corrente di uscita ad un valore superiore di un 5-6% rispetto al massimo previsto e,

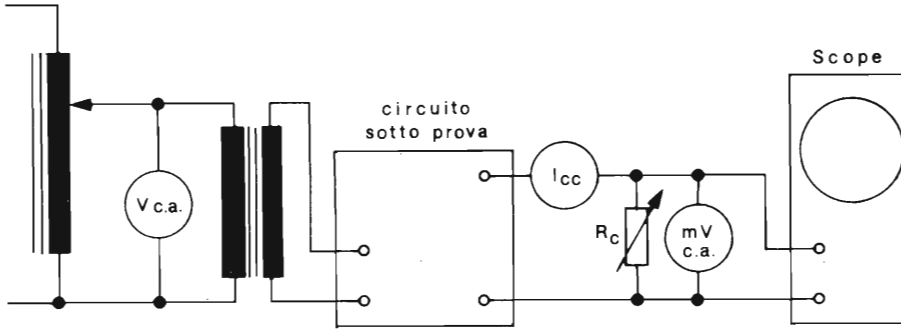


Figura 89

molto lentamente, si regoli il trimmer **P**$_2$, fino a provocare l'innesco del tiristor: la corrente nel carico cadrà a zero ed il milliampèrometro **I**$_3$ indicherà la correne di mantenimento dell'SCR, mentre la lampada-spia **L** si illuminerà.

Il voltmetro **I**$_6$ può dare un'idea approssimativa delle variazioni della tensione di uscita, nelle diverse condizioni di alimentazione e di carico, ma non certo misurarla con esattezza: in mancanza di un adatto voltmetro differenziale, ben difficilmente reperibile in commercio, si può ottenere una misura sufficientemente precisa mediante l'oscilloscopio, commutando l'ingresso su c.c. e valutando, mediante il reticolo, lo spostamento della traccia. È naturalmente possibile, se si desidera, ottenere la curve relative.

La misura del ripple, che non deve superare i 5 mV., può farsi col voltmetro elettronico oppure con lo stesso oscilloscopio commutato su c.a.; ovviamente, la misura deve essere fatta alla massima erogazione prevista.

Un accurato controllo della temperatura, nelle diverse condizioni di carico, è indispensabile, particolarmente riguardo al transistor di regolazione **T**$_1$, che viene a dissipare una potenza non trascurabile.

Nel caso di collaudi su produzione di serie, tutti gli strumenti inseriti nei vari punti del circuito non hanno più alcun scopo. Sono sufficienti il variac col relativo voltmetro, all'ingresso, e resistenza di carico millivoltmetro, ampèrometro e oscilloscopio all'uscita (figura 89).

6.3 - Messa a punto del registratore completo

Il registratore è un assieme di componenti magnetici, elettrici, elettronici e meccanici, che devono armonizzare fra loro al fine di ottenere un complesso che risponda a determinati requisiti, in parte codificati da precise norme internazionali ed in

parte affidati al giudizio del progettista, il quale si regola sulla base di un particolare risultato che si prefigge di conseguire.

Sarebbe inutile ripetere che oggi la registrazione magnetica ha superato di molte lunghezze gli altri sistemi di registrazione, ma bisogna anche aggiungere che un simile risultato non può ottenersi che a prezzo di una accuratissima messa a punto di tutto il complesso e di frequenti verifiche periodiche.

Specie quando si tratta di prototipi, le verifiche sui vari componenti, descritte nel precedente paragrafo, sono una base indispensabile, ma vanno completate con altrettanti controlli, da effettuarsi sulla apparecchiatura completa.

Le prime operazioni da farsi, senza le quali le successive prove e misure non porterebbero ad alcun risultato, sono il perfetto allineamento delle testine e l'azimut. Valendosi degli appositi nastri campione, si deve, innanzitutto, ottenere una lettura perfetta ed uniforme di tutta la banda di frequenza: operando su prototipi, può verificarsi il caso che si manifestino delle cadute di segnale alle frequenze estreme, imputabili all'equalizzazione del preamplificatore, non in perfetto accordo con le caratteristiche della testina, ma prima di effettuare ritocchi in questo senso è necessario assicurarsi, **nel modo più assoluto**, che la testina di lettura sia perfettamente a posto e che la pressione nastro-testina non sia insufficiente o eccessiva. Le norme DIN forniscono le tolleranze ammesse sulle caratteristiche di frequenza globali, in relazione alle diverse classi di registratori, ma quando si eseguono misure su prototipi, è indispensabile mantenere tolleranze molto più strette, a causa delle inevitabili differenze che possono, poi, manifestarsi fra i diversi componenti di serie.

Solamente dopo che si è ottenuto, con il nastro campione un'uscita perfettamente lineare entro l'intera banda di frequenze, la cui estensione, come già si è visto, va messa in relazione con la velocità di scorrimento del nastro, si può procedere oltre. Per questa misura, naturalmente, la strumentazione necessaria è la medesima descritta nel precedente paragrafo, ed anche le modalità di misura sono le stesse. L'unica differenza, in questo caso, consiste nel fatto che il segnale applicato all'ingresso del preamplifciatore è quello letto sul nastro dalla testina magnetica, anziché quello che appare all'uscita del simulatore.

Prima di passare alla messa a punto della registrazione, è necessario occuparsi della testina di cancellazione. Molto accurato deve essere l'allineamento rispetto alle altre due testine, per assicurare la cancellazione di tutta la larghezza della pista, eventualmente registrata in precedenza, e curata deve essere pure la pressione nastro - testina; l'azimut non è critico, a causa della lunghezza notevole del traferro della testina di cancellazione: una regolazione con mezzi di controllo visivi (ad esempio un traguardo improvvisato) è, di regola, sufficiente.

Un controllo della corrente di cancellazione, eseguito disponendo provvisoriamente in serie alla testina una resistenza di basso valore e misurando la caduta di tensione ai suoi capi, a mezzo del millivoltmetro, permetterà eventualmente di ritoccare il trimmer capacitivo, che serve ad accordare la testina. La misura deve

essere fatta in assenza di carico sull'uscita della corrente di polarizzazione, condizione che può essere ottenuta spostando il cursore dal relativo trimmer verso il lato freddo.

La verifica della distorsione non è necessaria, dato che si suppone sia già stata fatta, come si è precisato nel paragrafo precedente, tuttavia un ulteriore controllo può essere sempre utile.

Per la messa a punto della polarizzazione, si passino il millivoltmetro e l'oscilloscopio in parallelo alla resistenza $\mathbf{R}_2$ come indicato nel paragrafo 3 del quinto capitolo, (figura 53) e si regoli la corrente di polarizzazione al valore indicato dal costruttore della testina, quindi si proceda alla regolazione della trappola, all'uscita dell'amplificatore di registrazione (figura 90). Si misuri la tensione c.a. fra il terminale caldo della testina e la massa, si prenda nota della lettura, si sposti la strumentazione del punto A al punto B e si regoli l'induttanza della trappola fino ad ottenere il minimo segnale. Se tutto funziona regolarmente l'attenuazione provocata dalla trappola deve essere all'incirca di 50 dB (V. tabella VII).

L'oscilloscopio visualizzerà il segnale residuo, che dovrà essere costituito prevalentemente da distorsione di terza armonica. Chiaramente, questa regolazione deve essere fatta in assenza di segnale a frequenza acustica.

Se il V.U. meter è uno strumento elettronico, come previsto nelle figure 60 e 61, e se si dispone di una scala in milliampère, per la misura del bias (oppure se il

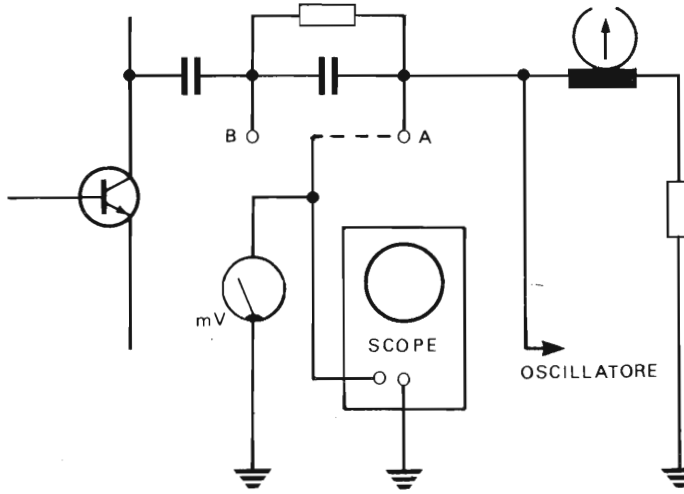


Figura 90

registratore impiega, allo stesso fine, uno strumento separato), conviene, prima di passare ad altro, procedere alla sua taratura a mezzo dell'apposito trimmer, spostando di nuovo la strumentazione in parallelo alla resistenza $\mathbf{R_2}$.

L'esame e la messa a punto della registrazione devono essere attuati in due tempi. Inizialmente, si colleghino il milliamperometro e l'oscilloscopio in parallelo alla resistenza $\mathbf{R_2}$ (figura 91), il generatore a frequenza acustica all'ingresso e, **senza corrente di polarizzazione**, si applichi un segnale avente la frequenza di riferimento (1kHz per registrazioni ad alta velocità e 333 Hz per le velocità più basse) e l'ampiezza prevista in sede di progetto (V. cap. V § 3); si regoli quindi il trimmer all'ingresso dell'amplificatore, affinché la corrente che scorre nella testina assuma il valore prescritto dal costruttore, corrispondente al livello nominale dell'induzione residua del supporto magnetico (32 oppure 25 mM/mm, secondo la velocità del supporto).

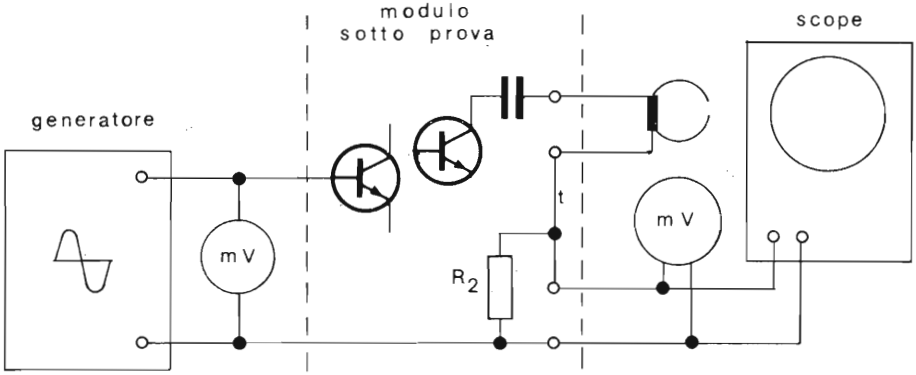


Figura 91

Si regoli inoltre il trimmer, predisposto nell'amplificatore allo scopo di regolare il segnale destinato al V.U. meter, fino a far coincidere col livello citato, lo zero dB della scala dello strumento.

Si applichi ora la polarizzazione, anch'essa al livello prescritto: apparirà, sullo schermo dell'oscilloscopio la sovrapposizione dei due segnali (figura 92). Sovente si sente parlare di una portante a frequenza ultraudibile, modulata dal segnale acustico: è una dizione completamente errata, perché non si tratta affatto di modulazione, ma di una semplice sovrapposizione di segnali. La presenza di modulazione sarebbe indice di non linearità di ampiezza nel circuito di utilizzazione.

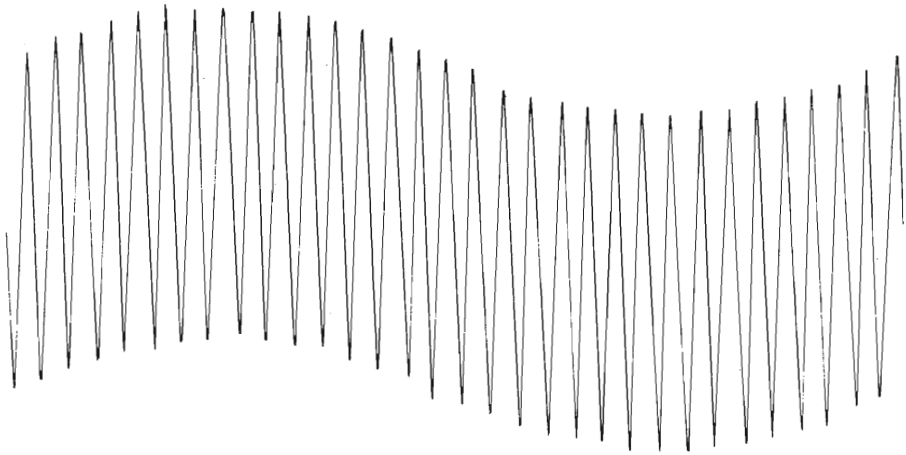


Figura 92

La seconda fase della messa a punto riguarda, in primo luogo, il posizionamento della testina, quindi il rilevamento delle caratteristiche del segnale registrato e le eventuali correzioni da apportare alla catena.

Circa il posizionamento della testina di registrazione non si potrebbe che ripetere, parola per parola, quanto è stato detto a proposito di quella di lettura. L'azimut è, anche in questo caso, molto critico, come pure il parallelismo fra il piano delle espansioni polari e quello di scorrimento del nastro.

La strumentazione di misura deve essere trasferita all'uscita del preamplificatore di lettura, in parallelo alla sua resistenza di carico, perché, evidentemente, l'unico mezzo di controllo dell'efficienza della registrazione consiste nell'analisi del segnale registrato.

Una volta regolata la testina di registrazione, ponendo in questa operazione la massima cura ed avendo l'avvertenza di non toccare più, per nessun motivo, quella di lettura, conviene provvedere subito alla ricerca della corrente ottimale di polarizzazione, che, in un primo tempo, era stata regolata in modo approssimativo, sulla base di una indicazione di massima fornita dalla casa costruttrice.

Per fare questo, si porti il segnale del generatore alla frequenza di riferimento e la corrente di polarizzazione a zero; registrando in queste condizioni, si avrà alla lettura un segnale debole e distorto. Si aumenti gradatamente la corrente di polarizzazione, fino a raggiungere il massimo livello di segnale all'uscita del preamplificatore, dopo di che, si continui ad aumentare la corrente, fino a quando il livello di uscita è sceso di 1 dB. Si è, così, raggiunta la polarizzazione ottima (V. cap. II figura 18).

Non rimane, come ultima operazione, che di rilevare la caratteristica di fre-

quenza globale (registrazione + lettura), che è quella che in definitiva fa testo, e la distorsione. Se l'equalizzazione dell'amplificatore è quella prevista per la velocità di scorrimento del supporto magnetico, la caratteristica di frequenza che appare all'uscita del preamplificatore di lettura deve risultare lineare.

Se si verificassero delle irregolarità, particolarmente all'estremità alta della banda di frequenza registrata, imputabili quasi certamente alle tolleranze delle testine, sarà opportuno ritoccare l'equalizzazione dell'amplificatore di registrazione, solo dopo essersi accertati, ancora una volta, che non vi siano difetti di aderenza o di azimut.

Naturalmente, quando si tratta di apparecchiature da studio, anche se di serie, la caratteristica di frequenza globale deve essere rilevata al completo, tracciando la relativa curva.

Per convenzione, il livello di riferimento stabilito dalle norme DIN per i nastri magnetici, corrisponde al valore dell'induzione residua al quale appare una distorsione del 3% alla frequenza di riferimento (V. cap.V). Poiché la distorsione globale dell'equipaggiamento elettronico è trascurabile, rispetto al valore citato, il residuo armonico, che viene rilevato nel segnale di uscita del preamplificatore per una registrazione al livello di riferimento (indicazione del V.U. meter zero dB) dovrà praticamente equivalere al 3%.

I controlli e le verifiche riguardanti l'equipaggiamento elettronico sono così terminati: rimane tuttavia ancora da esaminare il tasso di fluttazione che, pur essendo determinato da difetti di origine meccanica, se supera un determinato limite, degrada la qualità di riproduzione.

Il massimo tasso di fluttuazione ammesso dalle norme DIN secondo le varie classi di magnetofoni è indicato nella seguente tabella:

Tabella 6

	38.1	19.05	9.53	4.78	cm/sec
Registratori da studio	0.1%	0.15%	-	-	«
Apparechi HiFi	-	0.2%	0.2%	-	«
Apparecchi domestici a bobina	-	0.2%	0.3%	0.6%	«
Magnetofoni a cassette	-	-	-	0.5%	«

Per effettuare la misura, si collega il generatore all'ingresso dell'amplificatore di registrazione ed il fluttuometro all'uscita del preamplificatore di lettura. Se il fluttuometro dispone di una uscita a valle del discriminatore, conviene collegarvi l'oscilloscopio, per visualizzare la fluttuazione. L'ampiezza del segnale all'uscita del

preamplificatore di lettura può essere compresa fra 500 mV e 1 V e non è mai critica, perché tutti i fluttuometri sono provvisti di amplificatore di ingresso avente un efficace controllo automatico di guadagno, per rendere lo strumento insensibile alle variazioni di ampiezza del segnale.

La frequenza del segnale applicato all'amplificatore di registrazione deve essere assolutamente esatta. Una differenza dell'1% rispetto alla frequenza di taratura del fluttuometro è già sufficiente a rendere la lettura inesatta. Ritoccando l'apposito controllo, di cui lo strumento è provvisto ed, eventualmente, la frequenza del generatore, si ricerchi la minima indicazione del fluttuometro. Il valore letto è quello reale del flutter.

Per questa misura è conveniente usare un nastro nuovo, o quanto meno, in ottimo stato ed assolutamente senza giunte.

Il flutter trae la sua origine da imperfezioni meccaniche del sistema di trascinamento del nastro (rullini di traino leggermente eccentrici, volani insufficienti o non equilibrati a dovere, cuscinetti scadenti, eccessive resistenze passive, ecc.).

Riguardo ai volani, non si dirà mai a sufficienza che devono sempre conciliare il massimo momento di inerzia col minimo peso possibile: vale a dire devono avere grande diametro e piccolo spessore.

6.4 - Accorgimenti utili

La caratteristica più saliente che si richiede al materiale che costituisce il nucleo delle testine magnetiche, è una bassa forza coercitiva ed, in verità, sia le leghe che le ferriti attualmente usate sono molto prossime all'ottimo teorico ($Hc = 0$).

Ciò non toglie, che in determinate circostanze, le testine possono presentare lievi tracce di induzione residua. Questo può avvenire quando, per cause fortuite, vengano a trovarsi soggette ad un campo esterno di notevole intensità, che può essere dovuto alla vicinaza di grossi altoparlanti o di elettromagneti percorsi da c.c. Nel caso particolare della testina di registrazione, il fenomeno può abbastanza facilmente, essere causato anche dall'arrivo di un fortuito segnale di livello così alto da portare il circuito magnetico in prossimità della saturazione.

Quando in un registratore le testine sono magnetizzate ha origine, in primo luogo, rumore di fondo, conseguente al fatto che il segnale a frequenza ultraudibile di polarizzazione non risulta più simmetrico, rispetto all'origine degli assi della caratterisitca dinamica di magnetizzazione del supporto. Oltre a ciò, il supporto magnetico, passando sulle espansioni polari delle testine parzialmente magnetizzate, viene a trovarsi esposto ad un campo uniforme, che tende a provocare una attenuazione del segnale registrato.

È, quindi, molto importante smagnetizzare periodicamente le testine, valendosi di uno smagnetizzatore, previsto appunto allo scopo e costituito da un nucleo rettilineo, che termina con una punta arrotondata, recante un avvolgimento alimentato dalla rete c.a. Passando delicatamente e lentamente la punta dello smagne-

tizzatore sulle espansioni polari della testina, se ne provoca la completa smagnetizzazione.

Tale provvedimento assume particolare importanza quando si eseguono misure con nastri campione: si tratta sempre di nastri abbastanza costosi, che vanno usati con molta cura e che bisogna distruggere quando, per una ragione qualsiasi, non sono in grado di dare il necessario affidamento.

Nel paragrafo 7 del III capitolo si è discusso diffusamente della grande importanza che assume il posizionamento delle testine sia agli effetti della qualità della registrazione, che in vista della durata delle testine stesse.

Durante le varie operazioni necessarie per ottenere una corretta regolazione, è di valido aiuto un artificio consistente nello sporcare completamente le espansioni polari con una matita dermografica. Facendo, poi, scorrere, per qualche minuto, sulla testina un vecchio nastro, ormai inservibile, l'azione abrasiva che determina è sufficiente a ripulire completamente la zona di contatto nastro-testina.

Osservando la testina con una forte lente di ingrandimento è possibile vedere il traferro, che deve risultare esattamente al centro della zona pulita dal passaggio del nastro e perfettamente parallelo ai suoi margini (figura 93 a). Se il traferro non fosse centrato (figura 93 b), ciò significa che l'asse della testina non è normale al piano di scorrimento del nastro. Se la zona ripulita appare leggermente trapezoidale (figura 93 c) significa che la pressione nastro-testina non è uniforme, e ciò, oltre a tutto, abbrevia la vita della testina.

Questo sistema di indagine, pur essendo abbastanza superficiale, si dimostra molto pratico e facilita notevolmente l'operazione di posizionamento delle testine, sulla cui importanza non si sarà mai insistito abbastanza. Ultimato l'esame si ripuliscono accuratamente le testine con un pezzetto di pelle di camoscio molto morbida intrisa in tetracloruro di carbonio o in freon.

I trimmer, anche se di buon livello qualitativo, presentano, quasi sempre, scarse garanzie di stabilità, se paragonati a buone resistenze fisse. Nulla da obiettare

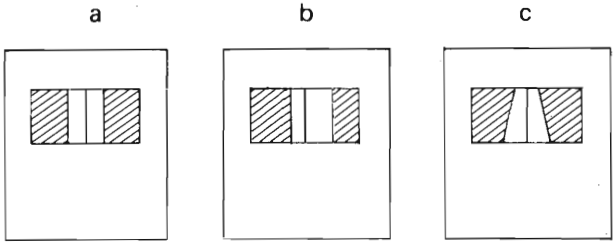


Figura 93

quando non vi siano severe esigenze in questo senso, ma quando il valore resistivo è molto critico, non si consiglia di sostituire semplicemente la resistenza con il trimmer; meglio usare le soluzioni presentate in figura 94, nelle quali R è il valore teorico della resistenza richiesta. Con queste soluzioni vengono minimizzate anche le incertezze dovute alla resistenza di contatto del cursore del trimmer ed i transitori che possono nascere durante la regolazione.

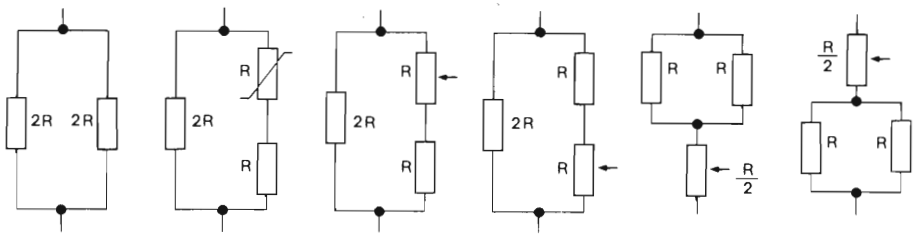


Figura 94

Misurando l'induttanza delle testine magnetiche, si notano sovente scostamenti abbastanza rilevanti rispetto ai valori di catalogo, conseguenti alle inevitabili tolleranze nelle dimensioni dei traferri o nelle proprietà magnetiche delle leghe. Del pari, nelle testine di registrazione si possono rilevare differenze nei valori ottimi della corrente di polarizzazione.

Per questo si consiglia, quando si procede alla messa a punto dei prototipi, di selezionare le testine (o di richiederne già selezionate al fornitore), in modo da avere la certezza di trovarsi, sotto ogni aspetto, nelle condizioni medie, sia relativamente ai livelli che alla caratteristia di frequenza e alla distorsione. È, poi, consigliabile custodire in luogo sicuro queste testine, per usarle, eventualmente, come campioni, sugli apparecchi di serie, nel caso si notassero anomalie di comportamento in fase di collaudi. Questo modo di procedere farà risparmiare tempo ed eviterà il pericolo di attribuire, erroneamente, alle equalizzazioni o ad altre cause, difetti inesistenti.

Un importante accorgimento, che verrà utile in seguito, è quello di corredare ciascun registratore di tutte le curve e di tutte le caratteristiche rilevate al momento del collaudo (caratteristica di frequenza globale, livelli, distorsioni, rapporto S/N flutter, ecc.). Ciò è molto utile per le verifiche periodiche necessarie.

6.5 - Tolleranze

Nessuno dei numerosi settori nei quali l'elettronica si è man mano suddivisa, ha avuto una incubazione lunga e faticosa come la registrazione magnetica del suono. Questa lenta evoluzione ha, però, portato buoni frutti, perché con la registrazione magnetica si ottiene oggi un livello qualitativo del suono riprodotto incomparabilmente superiore a quello ottenibile con qualunque altro sistema. La sua superiorità si estende dalla larghezza della banda di frequenza alla dinamica, conseguente anche al basso livello del rumore di fondo, e dipende, principalmente dall'assenza di dispositivi elettromeccanici, sia per la registrazione che per la lettura. È prevedibile che l'evoluzione della registrazione magnetica non abbia ancora raggiunto il suo limite. Molto c'è ancora da attendersi dai perfezionamenti che potranno derivare da ulteriori progressi delle leghe magnetiche, utilizzabili per i nuclei delle testine, e dei supporti magnetici. Lo sviluppo assunto in quest'ultimo ventennio da questo sistema di registrazione, che ne ha esteso l'applicazione nei campi più svariati, ha reso necessaria una normativa, allo scopo di facilitare lo scambio dei nastri e dei programmi, fra i vari settori di utilizzazione.

La figura 95 si riferise alle norme DIN relative alle tolleranze ammesse, rispetto alla caratteristica di frequenza teorica, per le varie classi di registratori. Come si può osservare, si tratta di margini molto stretti, almeno per quanto concerne gli impianti a livello professionale.

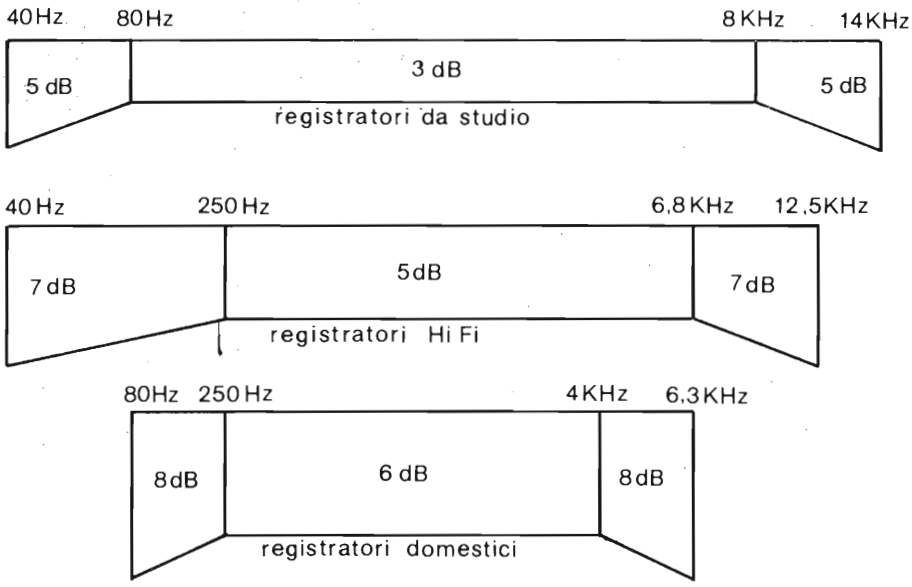


Figura 95

L'industria cinematografica e la televisione, che si valgono delle velocità di scorrimento del film fra le più elevate, impongono tolleranze ancora più strette (figura 96), salvo che si tratti di registratori portatili, per riprese di documentari (figura 97). Il limite imposto al rapporto segnale-disturbo è di 60 dB (limite che viene raggiunto senza grosse difficoltà) il che consente una dinamica molto elevata.

Si rammenta ancora una volta che le tolleranze citate riguardano apparecchi di serie: ciò impone, per i prototipi, severi controlli e tolleranze più strette.

6.6. - Verifiche periodiche

Anche il registratore magnetico più perfetto, per conservarsi tale con l'andare del tempo, necessita di cure e di un minimo di manutenzione.

Prima di entrare in merito, è opportuno precisare che le necessarie verifiche e le regolazioni che ne conseguono, devono essere effettuate solo quando sono veramente utili. Lo sfilare continuamente i moduli dalle loro sedi, il cincischiare senza

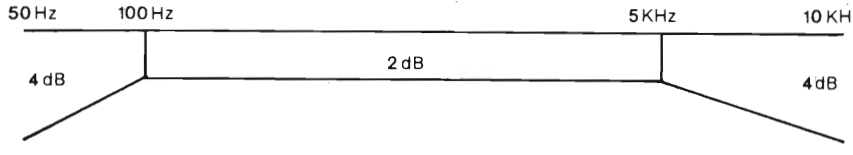


Figura 96

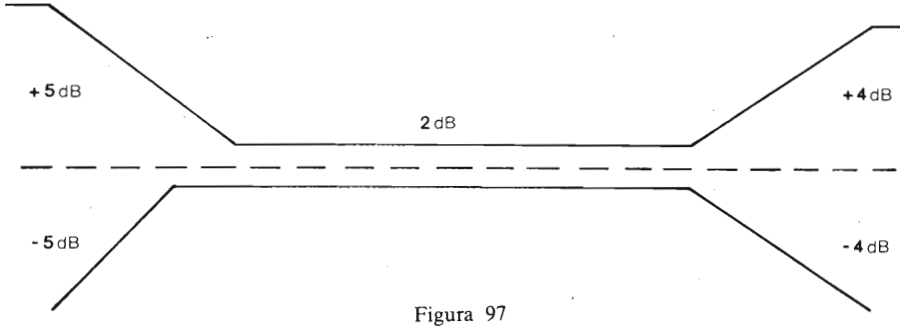


Figura 97

necessità attorno alle testine, l'inondare continuamente i contatti di connettori e relè con liquidi disossidanti, finiscono a distanza di tempo, col risolversi in un danno che è certamente molto maggiore di quello che può derivare da una insufficiente manutenzione.

Settimanalmente è opportuno eseguire una verifica della caratteristica di frequenza globale, mediante il generatore di controllo incluso nell'apparecchiatura. È un'operazione semplice che richiede solo qualche minuto. Commutando il V.U.meter sull'uscita del preamplificatore di lettura ed il generatore di controllo all'ingresso dell'amplificatore di registrazione, si possono rilevare i tre o quattro punti della caratteristica, sufficienti per denunziare eventuali irregolarità.

Se, come è prevedibile, non risulta nulla di anormale, non è il caso di procedere oltre. Qualora si notasse un calo di segnale alle frequenze più elevate, quasi sempre dovuto ad un leggero deposito di polvere e di particelle di ferrite, lasciate sulle espansioni polari dal passaggio di qualche nastro scadente o sporco, si proceda alla pulizia delle testine, che può essere fatta strofinando l e espansioni con una pezzuola di cotone o meglio con un pezzetto di pelle di camoscio molto morbida, intrisa in alcool; qualora la superficie anteriore delle testine fosse dificilmente accessibile, si può usare un sottile pennello di setola; è comunque importante evitare, se possibile, di toccare le espansioni polari con oggetti metallici, che potrebbero causare graffiature.

In un registratore di buon livello qualitativo è molto improbabile che il posizionamento delle testine non si mantenga stabile nel tempo; altrettanto improbabile che si alterino le caratteristiche di frequenza degli amplificatori, di conseguenza, si consiglia, in linea di massima, di limitarsi alla pulizia delle testine, salvo casi di assoluta e **provata** necessità. Si tenga ben presente che, per quanto riguarda la caratteristica di frequenza, le curve rilevate nella fase di collaudo del registratore, fanno testo.

Con l'occasione, sarà opportuno osservare con la lente le espansioni polari, per assicurarsi che il consumo delle testine avvenga in modo regolare.

Ogni due settimane, al massimo ogni mese, è necessario provvedere alla smagnetizzazione delle testine, come indicato nel precedente paragrafo; si proceda molto delicatamente, evitando di danneggiare le espansioni o lo scudo anteriore con la punta dello smagnetizzatore.

Molto opportuna è una verifica ad intervalli semestrali, sia dell'accordo della testina di cancellazione, che della trappola che blocca la corrente di polarizzazione verso l'amplificatore di registrazione, procedendo agli eventuali ritocchi, nel caso si ritenessero necessari. Approffitando della presenza della strumentazione di misura, conviene controllare pure il livello e la frequenza della corrente di cancellazione, che peraltro non sono valori critici.

Annualmente è consigliabile procedere ad una revisione totale del complesso di registrazione, iniziando con una accurata pulizia dei contatti di tutti i connettori dei moduli e dei cavi, utilizzando i vari disossidanti del commercio oppure il tetraclo-

ruro di carbonio, e procedendo, quindi, alla pulizia ed alla smagnetizzazione delle testine.

Si verifichi, quindi, il valore della corrente di polarizzazione e se ne faccia, se del caso, la messa a punto, dopo di che si ricavi la caratteristica di frequenza globale, punto per punto, usando in luogo del generatore di controllo, un generatore a variazione continua di frequenza; si tracci la curva relativa e la si confronti con quella originale. Se la caratteristica non corrisponde conviene rilevare la curva di risposta dell'amplificatore di registrazione e del preamplificatore di lettura, separatamente, come indicato nei paragrafi precedenti, cogliendo l'occasione per controllare anche i guadagni, i livelli, il rapporto segnale-disturbo, la distorsione e la simmetria del clipping.

È possibile, quantunque poco probabile, che si renda necessario qualche ritocco. Di regola tutto si riduce, come massimo, a dover regolare qualche trimmer, molto raramente a dover sostituire qualche componente alteratosi con l'uso prolungato.

Quando si è accertato che l'equipaggiamento elettronico è (o è tornato) in piena efficienza, si rimonti il tutto e si rifaccia la caratteristica di frequenza globale. Se, come non è da escludersi, il risultato non fosse ancora soddisfacente, è dimostrato che occorre rivolgere l'attenzione alle testine magnetiche. Dopo un anno di uso, è assai probabile che siano ormai molto prossime alla fine del loro ciclo di vita e che se ne renda necessaria la sostituzione. Le necessarie operazioni sono state diffusamente descritte nei paragrafi precedenti.

Allo stato attuale della tecnica, l'equipaggiamento elettronico, se ben progettato e realizzato con componenti di sicuro affidamento, è certamente, di tutta l'installazione, la parte praticamente esente da guasti e meno soggetta a degradarsi dopo un uso prolungato. È proprio in considerazione di questo fatto, che nei consigli relativi alla manutenzione degli impianti di registrazione, amplificatori, preamplificatori e dispositivi accessori hanno avuto la parte della cenerentola. Purtroppo però anch'essi invecchiano, a causa dell'evoluzione dell'elettronica, che procede inesorabile come una valanga. A volte, solo dopo qualche anno di vita, un dispositivo, pure nel pieno della sua efficienza, si vede trasformato, quasi improvvisamente, in un pezzo da museo.

Altrettanto non può dirsi delle testine che, per il loro costo elevato e per la difficoltà della loro messa a punto, rappresentano l'unico punto dolente di tutta l'apparecchiatura.

Non a caso si è insistito fino alla noia sulle cure da dedicare alle testine magnetiche, sia durante la loro messa a punto che in occasione delle verifiche periodiche all'impianto.

Appendice

Diagrammi, tabelle e monogrammi di uso comune

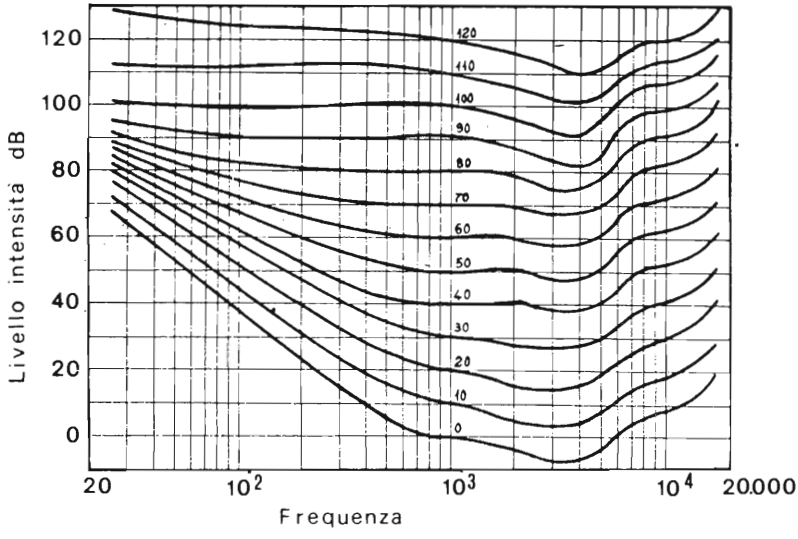


Figura 98 - Curve isofone

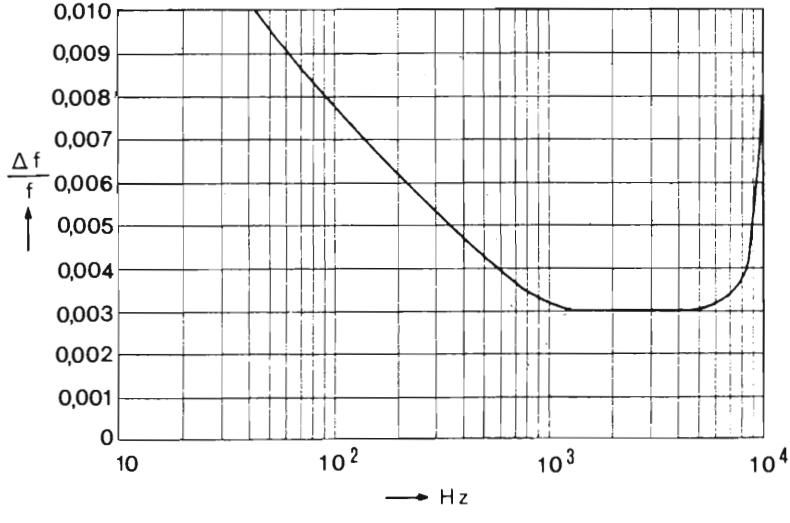


Figura 99 - Sensibilità dell'orecchio alle variazioni di frequenza

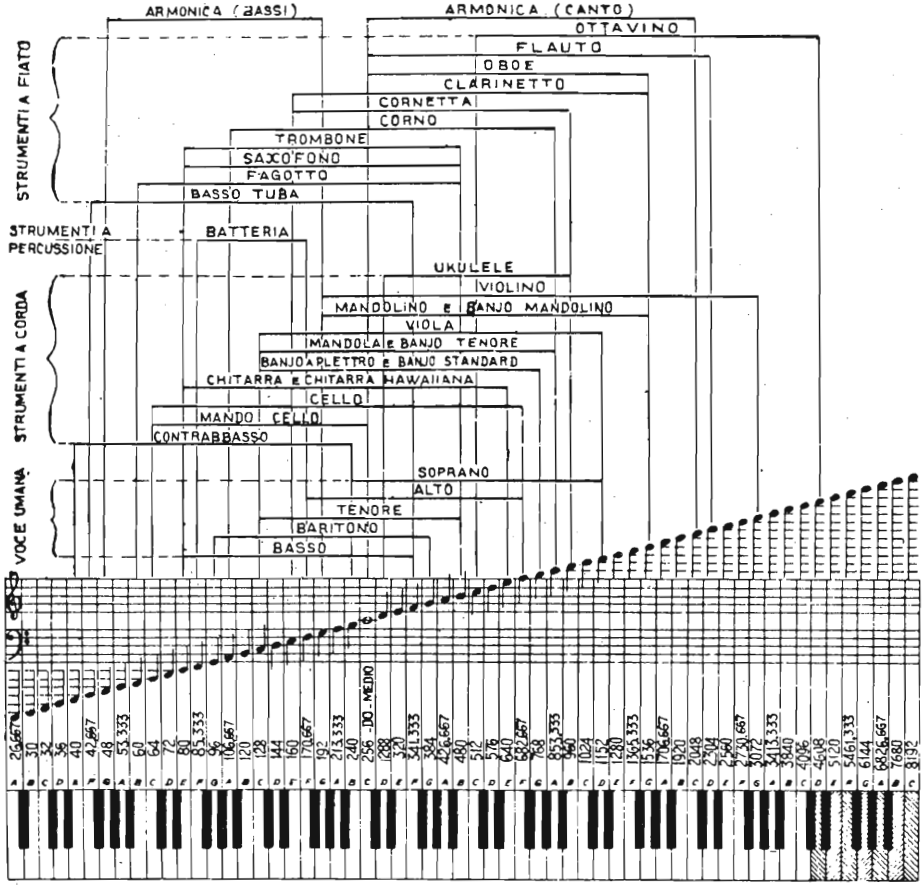


Figura 100 - Banda di frequenza degli strumenti musicali

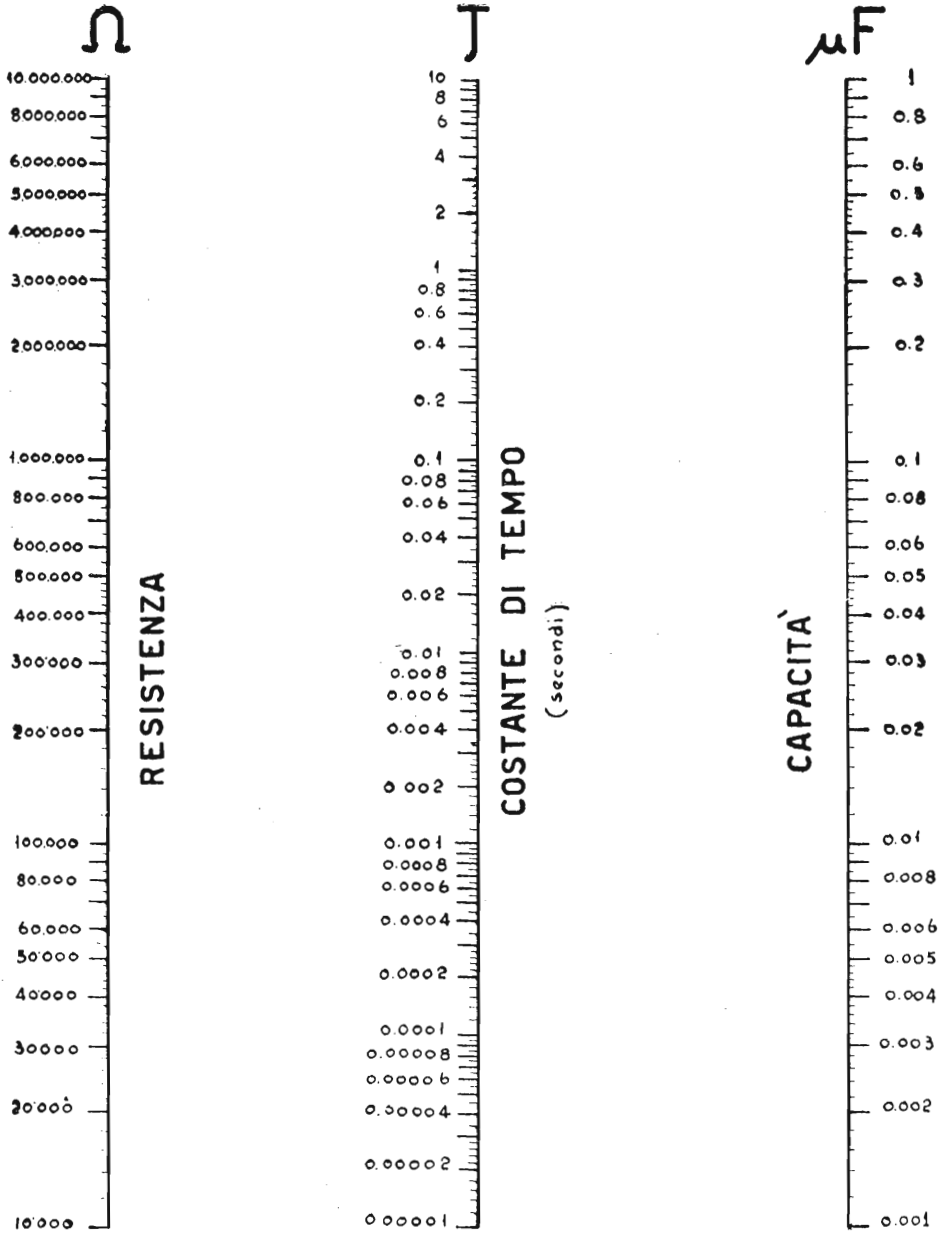


Figura 101 - Nomogramma per la determinazione della costante di tempo dei gruppi RC

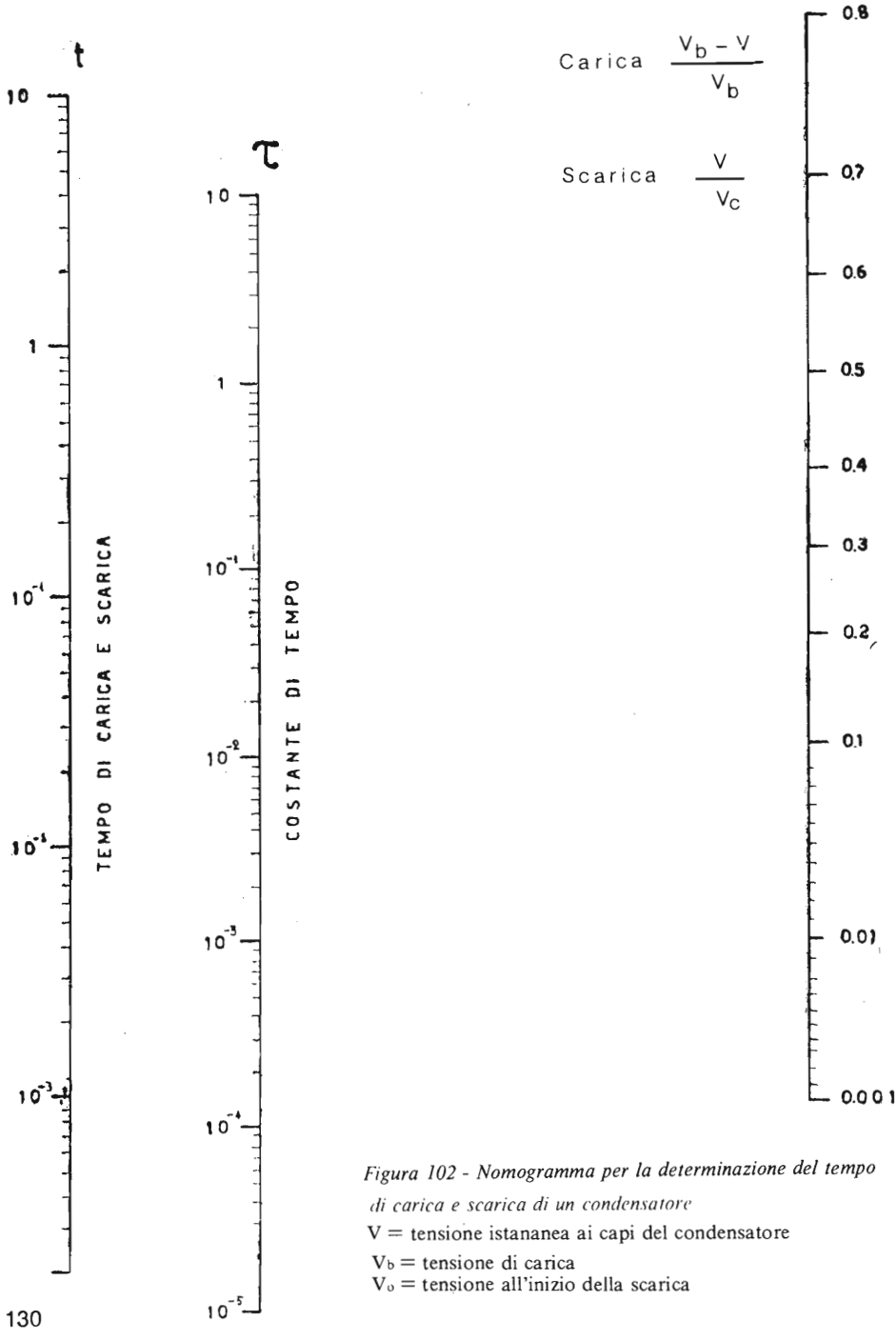


Figura 102 - Nomogramma per la determinazione del tempo di carica e scarica di un condensatore

V = tensione istananea ai capi del condensatore

V_b = tensione di carica

V_o = tensione all'inizio della scarica

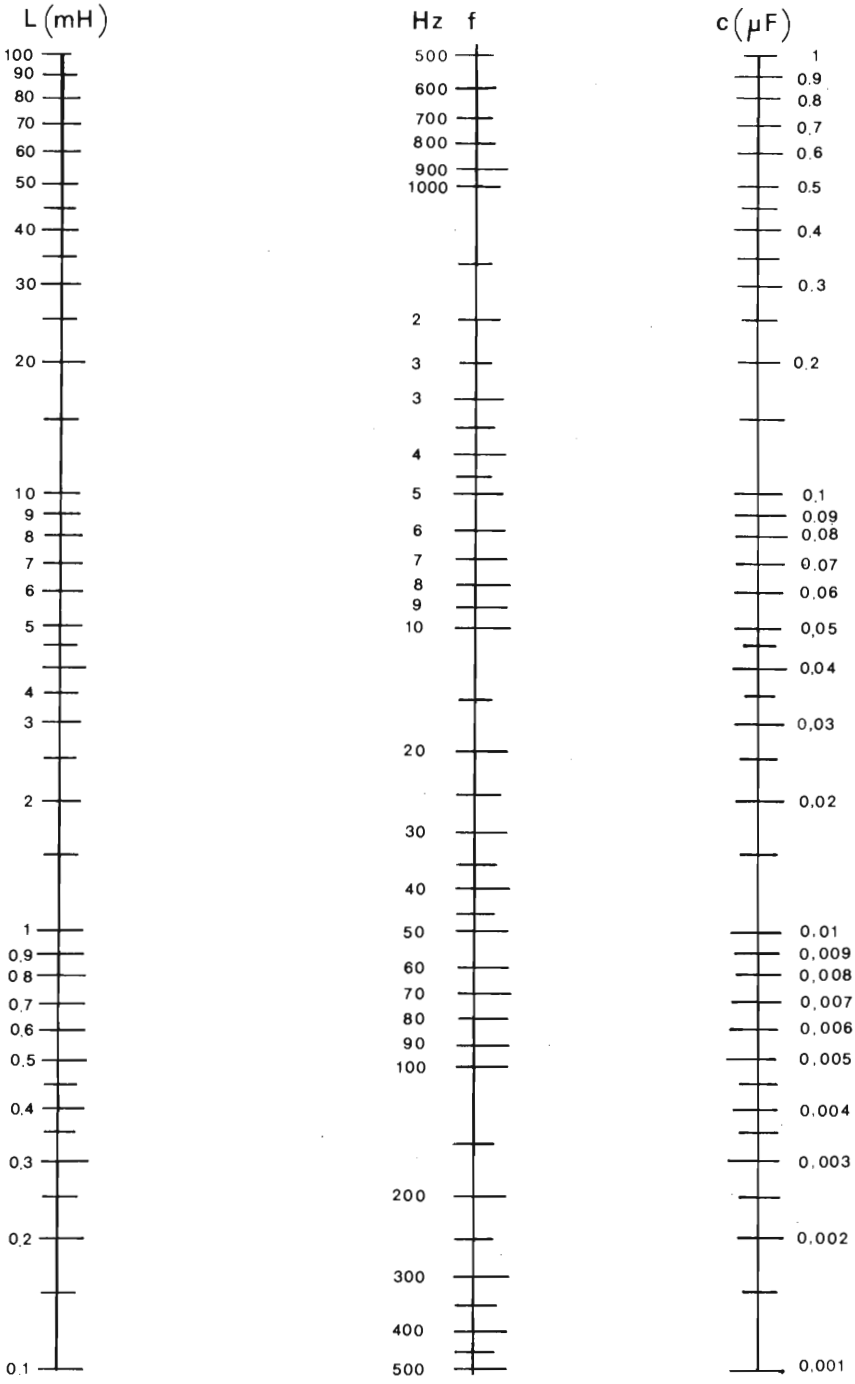


Figura 103 - Nomogramma per la determinazione della frequenza di risonanza di circuiti LC

Tabella VII

CONVERSIONE DEI DECIBEL IN RAPPORTI DI TENSIONE O POTENZA

Tensione	Potenza	− dB +	Tensione	Potenza	Tensione	Potenza	− dB	Tensione	Potenza
1.0000	1.0000	0	1.000	1.000	0.5309	0.2818	5.5	1.884	3.548
0.9886	0.9772	0.1	1.012	1.023	0.5248	0.2754	5.6	1.905	3.631
0.9772	0.9550	0.2	1.023	1.047	0.5188	0.2692	5.7	1.928	3.715
0.9661	0.9333	0.3	1.035	1.072	0.5129	0.2630	5.8	1.950	3.802
0.9550	0.9120	0.4	1.047	1.096	0.5070	0.2570	5.9	1.972	3.890
0.9441	0.8913	0.5	1.059	1.122	0.5012	0.2512	6.0	1.995	3.981
0.0333	0.8710	0.6	1.072	1.148	0.4955	0.2455	6.1	2.018	4.074
0.9226	0.8511	0.7	1.084	1.175	0.4898	0.2399	6.2	2.042	4.169
0.9120	0.8318	0.8	1.096	1.202	0.4842	0.2344	6.3	2.065	4.266
0.9016	0.8128	0.9	1.109	1.230	0.4786	0.2291	6.4	2.089	4.365
0.8913	0.7943	1.0	1.122	1.259	0.4732	0.2239	6.5	2.113	4.467
0.8810	0.7762	1.1	1.135	1.288	0.4677	0.2188	6.6	2.138	4.571
0.8710	0.7586	1.2	1.148	1.318	0.4624	0.2138	6.7	2.163	4.677
0.8610	0.7413	1.3	1.161	1.349	0.4571	0.2089	6.8	2.188	4.786
0.8511	0.7244	1.4	1.175	1.380	0.4519	0.2042	6.9	2.213	4.898
0.8414	0.7079	1.5	1.189	1.413	0.4467	0.1995	7.0	2.239	5.012
0.8318	0.6918	1.6	1.202	1.445	0.4416	0.1950	7.1	2.265	5.129
0.8222	0.6761	1.7	1.216	1.479	0.4365	0.1905	7.2	2.291	5.248
0.8128	0.6607	1.8	1.230	1.514	0.4315	0.1862	7.3	2.317	5.370
0.8035	0.6457	1.9	1.245	1.549	0.4266	0.1820	7.4	2.344	5.495
0.7943	0.6310	2.0	1.259	1.585	0.4217	0.1778	7.5	2.371	5.623
0.7852	0.6166	2.1	1.274	1.622	0.4169	0.1738	7.6	2.399	5.754
0.7762	0.6026	2.2	1.288	1.660	0.4121	0.1698	7.7	2.427	5.888
0.7674	0.5888	2.3	1.303	1.698	0.4074	0.1660	7.8	2.455	6.026
0.7586	0.7554	2.4	1.318	1.738	0.4027	0.1622	7.9	2.483	6.166
0.7499	0.5623	2.5	1.334	1.778	0.3981	0.1585	8.0	2.512	6.310
0.7413	0.5495	2.6	1.349	1.820	0.3936	0.1549	8.1	2.541	6.457
0.7328	0.5370	2.7	1.365	1.862	0.3890	0.1514	8.2	2.570	6.607
0.7244	0.5248	2.8	1.380	1.905	0.3846	0.1479	8.3	2.600	6.761
0.7161	0.5129	2.9	1.396	1.950	0.3802	0.1445	8.4	2.630	6.918
0.7079	0.5012	3.0	1.413	1.995	0.3758	0.1413	8.5	2.661	7.079
0.6998	0.4898	3.1	1.429	2.042	0.3715	0.1380	8.6	2.692	7.244
0.6918	0.4786	3.2	1.445	2.089	0.3673	0.1349	8.7	2.723	7.413
0.6839	0.4677	3.3	1.462	2.138	0.3631	0.1318	8.8	2.754	7.586
0.6761	0.4571	3.4	1.479	2.188	0.3589	0.1288	8.9	2.786	7.762
0.6683	0.4467	3.5	1.496	2.239	0.3548	0.1259	9.0	2.818	7.943
0.6607	0.4365	3.6	1.514	2.291	0.3508	0.1230	9.1	2.851	8.128
0.6531	0.4266	3.7	1.531	2.344	0.3467	0.1202	9.2	2.884	8.318
0.6457	0.4169	3.8	1.549	2.399	0.3428	0.1175	9.3	2.917	8.511
0.6383	0.4074	3.9	1.567	2.455	0.3388	0.1148	9.4	2.951	8.710
0.6310	0.3981	4.0	1.585	2.512	0.3350	0.1122	9.5	2.985	8.913
0.6237	0.3890	4.1	1.603	2.570	0.3311	0.1096	9.6	3.020	9.120
0.6166	0.3802	4.2	1.622	2.630	0.3273	0.1072	9.7	3.055	9.333
0.6095	0.3715	4.3	1.641	2.692	0.3236	0.1047	9.8	3.090	9.550
0.6026	0.3631	4.4	1.660	2.754	0.3199	0.1023	9.9	3.126	9.772
0.5957	0.3548	4.5	1.679	2.818	0.3162	0.1000	10.0	3.162	10.000
0.5888	0.3467	4.6	1.698	2.884	0.3126	0.09772	10.1	3.199	10.23
0.5821	0.3388	4.7	1.718	2.951	0.3090	0.09550	10.2	3.236	10.47
0.5754	0.3311	4.8	1.738	3.020	0.3055	0.09333	10.3	3.273	10.72
0.5689	0.3236	4.9	1.758	3.090	0.3020	0.09120	10.4	3.311	10.96
0.5623	0.3162	5.0	1.778	3.162	0.2985	0.08913	10.5	3.350	11.22
0.5559	0.3090	5.1	1.799	3.236	0.2951	0.08710	10.6	3.388	11.48
0.5495	0.3020	5.2	1.820	3.311	0.2917	0.08511	10.7	3.428	11.75
0.5433	0.2951	5.3	1.841	3.388	0.2884	0.08318	10.8	3.467	12.02
0.5370	0.2884	5.4	1.862	3.467	0.2851	0.08128	10.9	3.508	12.30

Segue

Tensione	Potenza	− dB +	Tensione	Potenza
0.2818	0.07943	11.0	3.548	12.59
0.2786	0.07762	11.1	3.589	12.88
0.2754	0.07586	11.2	3.631	13.18
0.2723	0.07413	11.3	3.673	13.49
0.2692	0.07233	11.4	3.715	13.80
0.2661	0.07079	11.5	3.758	14.13
0.2630	0.06918	11.6	3.802	14.45
0.2600	0.06761	11.7	3.846	14.79
0.2570	0.06607	11.8	3.890	15.14
0.2541	0.06457	11.9	3.936	15.49
0.2512	0.06310	12.0	3.981	15.85
0.2483	0.06166	12.1	4.027	16.22
0.2455	0.06026	12.2	4.074	16.60
0.2427	0.05888	12.3	4.121	16.98
0.2399	0.05754	12.4	4.169	17.38
0.2371	0.05623	12.5	4.217	17.78
0.2344	0.05495	12.6	4.266	18.20
0.2317	0.05370	12.7	4.315	18.62
0.2291	0.05248	12.8	4.365	19.05
0.2265	0.05129	12.9	4.416	19.50
0.2239	0.05012	13.0	4.467	19.95
0.2213	0.04898	13.1	4.519	20.42
0.2188	0.04786	13.2	4.571	20.89
0.2163	0.04677	13.3	4.624	21.38
0.2138	0.04571	13.4	4.677	21.88
0.2113	0.04467	13.5	4.732	22.39
0.2089	0.04365	13.6	4.786	22.91
0.2065	0.04266	13.7	4.842	23.44
0.2042	0.04169	13.8	4.898	23.99
0.2018	0.04074	13.9	4.955	24.55
0.1995	0.03981	14.0	5.012	25.12
0.1972	0.03890	14.1	5.070	25.70
0.1950	0.03802	14.2	5.129	26.30
0.1928	0.03715	14.3	5.188	26.92
0.1905	0.03631	14.4	5.248	27.54
0.1884	0.03548	14.5	5.309	28.18
0.1862	0.03467	14.6	5.370	28.84
0.1841	0.03388	14.7	5.433	29.51
0.1820	0.03311	14.8	5.495	30.20
0.1799	0.03236	14.9	5.559	30.90
0.1778	0.03162	15.0	5.623	31.62
0.1758	0.03090	15.1	5.689	32.36
0.1738	0.03020	15.2	5.754	33.11
0.1718	0.02951	15.3	5.821	33.88
0.1698	0.02884	15.4	5.888	34,67
0.1679	0.02818	15.5	5.957	35.48
0.1660	0.02754	15.6	6.026	36.31
0.1641	0.02692	15.7	6.095	37.15
0.1622	0.02630	15.8	6.166	38.02
0.1603	0.02570	15.9	6.237	38.90
0.1585	0.02512	16.0	6.310	39.81
0.1567	0.02455	16.1	6.383	40.74
0.1549	0.02399	16.2	6.457	41.69
0.1531	0.02344	16.3	6.531	42.66

Tensione	Potenza	− dB +	Tensione	Potenza
0.1514	0.02291	16.4	6.607	43.65
0.1496	0.02239	16.5	6.683	44.67
0.1479	0.02188	16.6	6.761	45.71
0.1462	0.02138	16.7	6.839	46.77
0.1445	0.02089	16.8	6.918	47.86
0.1429	0.02042	16.9	6.998	48.98
0.1413	0.01995	17.0	7.079	50.12
0.1396	0.01950	17.1	7.161	51.29
0.1380	0.01905	17.2	7.244	52.48
0.1365	0.01862	17.3	7.328	53.70
0.1349	0.01820	17.4	7.413	54.95
0.1334	0.01778	17.5	7.499	56.23
0.1318	0.01738	17.6	7.586	57.54
0.1303	0.01698	17.7	7.674	58.88
0.1288	0.01660	17.8	7.762	60.26
0.1274	0.01622	17.9	7.852	61.66
0.1259	0.01585	18.0	7.943	63.10
0.1245	0.01549	18.1	8.035	64.57
0.1230	0.01514	18.2	8.128	66.07
0.1216	0.01479	18.3	8.222	67.61
0.1202	0.01445	18.4	8.318	69.18
0.1189	0.01413	18.5	8.414	70.79
0.1175	0.01380	18.6	8.511	72.44
0.1161	0.01349	18.7	8.610	74.13
0.1148	0.01318	18.8	8.710	75.86
0.1135	0.01288	18.9	8.811	77.62
0.1122	0.01259	19.0	8.913	79.43
0.1109	0.01230	19.1	9.016	81.28
0.1096	0.01202	19.2	9.120	83.18
0.1084	0.01175	19.3	9.226	85.11
0.1072	0.01148	19.4	9.333	87.10
0.1059	0.01122	19.5	9.441	89.13
0.1047	0.01096	19.6	9.550	91.20
0.1035	0.01072	19.7	9.661	93.33
0.1023	0.01047	19.8	9.772	95.50
0.1012	0.01023	19.9	9.886	97.72
0.1000	0.01000	20.0	10.000	100.00

Tensione	Potenza	− dB +	Tensione	Potenza
3.162×10^{-1}	10^{-1}	10	3.162	10
10^{-1}	10^{-2}	20	10	10^{2}
3.162×10^{-2}	10^{-3}	30	3.162×10	10^{3}
10^{-2}	10^{-4}	40	10^{2}	10^{4}
3.162×10^{-3}	10^{-5}	50	3.162×10^{2}	10^{5}
10^{-3}	10^{-6}	60	10^{3}	10^{6}
3.162×10^{-4}	10^{-7}	70	3.162×10^{3}	10^{7}
10^{-4}	10^{-8}	80	10^{4}	10^{8}
3.162×10^{-5}	10^{-9}	90	3.162×10^{4}	10^{9}
10^{-5}	10^{-10}	100	10^{5}	10^{10}

Tabella VIII

LIVELLI ASSOLUTI DI POTENZA E TENSIONE

Livello di riferimeno
0 db = 1 milliwatt, 600 ohm

Watt	Volt	dB
0.001 000	0.774 6	0
0.001 585	0.975 2	+ 2
0.002 512	1.228	+ 4
0.003 981	1.546	+ 6
0.006 310	1.946	+ 8
0.010 00	2.449	+ 10
0.015 85	3.084	+ 12
0.025 12	3.882	+ 14
0.039 81	4.887	+ 16
0.063 10	6.153	+ 18
0.100 0	7.746	+ 20
0.158 5	9.752	+ 22
0.251 2	12.28	+ 24
0.398 1	15.46	+ 26
0.631 0	19.46	+ 28
1.000	24.49	+ 30
1.585	30,84	+ 32
2.512	38.82	+ 34
3.981	48.87	+ 36
6.310	61.53	+ 38
10.00	77.46	+ 40
15.85	97.52	+ 42
25.12	122.8	+ 44
39.81	154.6	+ 46
63.10	194.6	+ 48
100.0	244.9	+ 50
158.5	308.4	+ 52
251.2	388.2	+ 54
398.1	488.7	+ 56
631.0	615.3	+ 58
1 000.0	774.6	+ 60

Milliwatt	Volt	dB
1.000	0.774 6	0
0.631 0	0.616 7	— 2
0.398 1	0.488 7	— 4
0.251 2	0.388 2	— 6
0.158 5	0.308 4	— 8
0.100 0	0.244 9	— 10
0.063 10	0.194 6	— 12
0.039 81	0.154 6	— 14
0.025 12	0.122 8	— 16
0.015 85	0.097 52	— 18
0.010 00	0.077 46	— 20
0.006 310	0.061 67	— 22
0.003 981	0.048 87	— 24
0.002 512	0.038 82	— 26
0.001 585	0.030 84	— 28
0.001 000	0.024 49	— 30
0.000 631 0	0.019 46	— 32
0.000 398 1	0.015 46	— 34
0.000 251 2	0.012 28	— 36
0.000 158 5	0.009 752	— 38
0.000 100 0	0.007 746	— 40
0.000 063 10	0.006 167	— 42
0.000 039 81	0.004 887	— 44
0.000 025 12	0.003 882	— 46
0.000 015 85	0.003 084	— 48
0.000 010 00	0.002 449	— 50
0.000 006 310	0.001 946	— 52
0.000 003 981	0.001 546	— 54
0.000 002 512	0.001 228	— 56
0.000 001 585	0.000 975 2	— 58
0.000 001 000	0.000 774 6	— 60
0.000 000 631 0	0.000 616 7	— 62
0.000 000 398 1	0.000 488 7	— 64
0.000 000 251 2	0.000 388 2	— 66
0.000 000 158 5	0.000 308 4	— 68
0.000 000 100 0	0.000 244 9	— 70
0.000 000 063 10	0.000 194 6	— 72
0.000 000 039 81	0.000 154 6	— 74
0.000 000 025 12	0.000 122 8	— 76
0.000.000 015 85	0.000 097 52	— 78
0.000 000 010 00	0.000 077 46	— 80

Tabella IX

Relazioni fra valore massimo efficace e medio di grandezze sinusoidali

U max × 1,41 U eff × 1,569 U med

U eff × 0,707 U max × 1,11 U med

U med × 0637 U max × 0,901 U eff

La registrazione magnetica del suono

C. TAGLIABUE

Una cosa che non si dovrebbe dimenticare è che la progettazione di apparecchi elettronici, di qualsiasi genere essi siano, non può essere frutto di improvvisazione: richiede preparazione di base, in primo luogo, ma anche riflessione e conoscenza perfetta dei problemi da affrontare. Solo a queste condizioni la ricerca di laboratorio può dare buoni frutti.
In questo volumetto ho fatto il possibile per mantenere una forma piana e facilmente accessibile, ricorrendo al linguaggio matematico solo ove fosse assolutamente indispensabile.
Oltre vent'anni di esperienza nel settore della registrazione magnetica del suono a livello professionale, mi hanno insegnato molte cose che non si trovano facilmente nei libri, alcune di primaria importanza, altre solo apparentemente insignificanti.
Lo scopo che io mi sono prefisso, accingendomi alla compilazione di questo lavoro, è quello di fornire ai tecnici, interessati a questa materia, una guida, che sia loro di qualche aiuto nello svolgimento della loro quotidiana attività. Mi auguro di aver raggiunto lo scopo.

KOSTROI

€ 7,00

ISBN 88-7365-058-9

9 788873 650584